UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA HIDRÁULICA



TESIS

"EFICIENCIA HIDRÁULICA DE LA POZA DISIPADORA DE ENERGÍA DE LA CAPTACIÓN CRISTO REY, CON BARRAGE FIJO-FUSIBLE, CAJAMARCA"

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

Bach. CHUQUIRUNA MARIN, LUIS ROBERTH

ASESOR:

Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

 $CAJAMARCA-PER \acute{U}$

2025



CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

- 1. Investigador: LUIS ROBERTH CHUQUIRUNA MARIN DNI: 73021676 Escuela Profesional: INGENIERÍA HIDRÁULICA
- 2. Asesor: Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE. Facultad: INGENIERÍA.
- 3. Grado académico o título profesional

Bachiller	Título profesional	□Segunda especialidad

□Maestro □Doctor

- 4. Tipo de Investigación:
 - Tesis

□ Trabajo de investigación □ Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

- 5. Título de Trabajo de Investigación: EFICIENCIA HIDRÁULICA DE LA POZA DISIPADORA DE ENERGÍA DE LA CAPTACIÓN CRISTO REY, CON BARRAGE FIJO-FUSIBLE, CAJAMARCA.
- 6. Fecha de evaluación: 21 de Febrero de 2025
- 7. Software antiplagio: TURNITIN
- □ URKUND (OURIGINAL) (*)
- 8. Porcentaje de Informe de Similitud: 12 %
- 9. Código Documento: oid:3117: 432862790
- 10. Resultado de la Evaluación de Similitud:

APROBADO 🗆 PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 15 de Abril de 2025

Hurrind



Firmado digitalmente por: BAZAN DIAZ Laura Sofia FAU 20148258601 soft Motivo: En señal de conformidad Fecha: 15/04/2025 11:07:12-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

FIRMA DEL ASESOR	
Nombres y Apellidos: JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRI	E

DNI: 26609077



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana" Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962 FACULTAD DE INGENIERÍA



Teléf. Nº 365976 Anexo Nº 1129-1130

<u>ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.</u>

TITULO : "EFICIENCIA HIDRÁULICA DE LA POZA DISIPADORA DE ENERGÍA DE LA CAPTACIÓN CRISTO REY, CON BARRAGE FIJO – FUSIBLE, CAJAMARCA"

ASESOR : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple Nº 0147-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 22 de abril de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **veintínueve días del mes de abril de 2025**, siendo las diez horas (10:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A – Segundo Piso), de la facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente	; Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez.
Vocal	: Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Secretario	: M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada "EFICIENCIA HIDRÁULICA DE LA POZA DISIPADORA DE ENERGÍA DE LA CAPTACIÓN CRISTO REY, CON BARRAGE FIJO – FUSIBLE, CAJAMARCA", presentado por el Bachiller en Ingeniería de Hidráulica LUIS ROBERTH CHUQUIRUNA MARIN, asesorado por el Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

icciodio . (En letras)

En consecuencia, se lo declara Aprobado ... con el calificativo de ... <u>Decencello</u> acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las ..., <u>Decencence</u> horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

uis Andrés León Ch ávez. Presidente

M.Cs. Ing. Jose Hilano Longa Álvarez. Secretario

lo Méndez Cruz

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre. Asesor

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la salud y permitirme el desarrollo de investigación y redacción de la presente tesis.

A la Universidad Nacional de Cajamarca por brindarme la enseñanza de calidad durante mi carrera universitaria.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca por permitirme usar el laboratorio de Mecánica de Suelos y realizar el estudio de granulometría.

A la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Hidráulica por concederme el préstamo del instrumento de medición de velocidades de agua (Correntómetro), para realizar los diferentes aforos.

Al Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre por su tiempo y constante asesoramiento durante el desarrollo y culminación de la presente tesis.

A mis amigos y compañeros de estudio por el apoyo incondicional que me brindaron para el estudio topográfico, medición de caudales y construcción del modelo físico.

Al Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez, Dr. Ing. Luis Andrés León Chávez, y al M. Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez; quienes fueron los jurados de tesis y con su conocimiento amplio me ayudaron a mejorar la presente investigación.

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mis padres, abuelos y hermanos por el apoyo constante que me brindaron durante el proceso.

Luis Roberth Chuquiruna Marin

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	. iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	. iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	. xi
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	vii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Contextualización	1
1.1.2. Descripción del problema	1
1.1.3. Formulación del Problema	2
1.2. Hipótesis	2
1.3. Justificación e Importancia de la Investigación	2
1.3.1. Justificación Científica	2
1.3.2. Justificación Técnico – Práctica	2
1.3.3. Justificación Institucional y Personal	2
1.4. Alcances o Delimitación de la Investigación	3
1.5. Limitaciones	3
1.6. Objetivos de la Investigación	4
1.6.1. Objetivo General	4
1.6.2. Objetivos Específicos	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación	5
2.1.1. A nivel Internacional	5
2.1.2. A nivel Nacional	5

ÍNDICE DE CONTENIDO

2.1.3. A nivel Local
2.2. Bases Teóricas
2.2.1. Captación derivadora en río de montaña
2.2.2. Topografía
2.2.3. Fluviomorfología
2.2.4. Hidrología
2.2.5. Sedimentos
2.2.6. Colmatación
2.2.7. Rugosidad de Manning 24
2.2.8. Caudal
2.2.9. Diseño de captación derivadora de alta montaña con barrage fijo-fusible 27
2.2.10. Diseño de la poza disipadora de energía
2.2.11. Modelo Hidráulico
2.2.12. Materiales y construcción del modelo 47
2.2.13. Calibración y verificación del modelo físico
2.2.14. Eficiencia hidráulica de pozas disipadoras de energía
2.2.15. Disipación de energía de pequeñas caídas 49
2.2.16. Flujo de mezclas 50
2.3. Definición de términos básicos
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS
3.1. Localización del área de estudio
3.1.1. Ubicación temporal de la investigación 54
3.2. Materiales, Equipos y Softwares
3.2.1. Materiales
3.2.2. Herramientas
3.2.3. Instrumentos
3.2.4. Equipos

3.2.5. Softwares	
3.3. Metodología	
3.4. Procedimiento	
3.4.1. Levantamiento topográfico	
3.4.2. Obtención de datos de campo del proto	otipo 59
3.4.3. Análisis hidrológico	
3.4.4. Sedimentos	
3.4.5. Caudal	
3.4.6. Diseño de captación derivadora de alta	montaña con barrage fijo-fusible 74
3.4.7. Diseño de la poza disipadora de energí	a
3.4.8. Modelamiento Hidráulico	
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE	RESULTADOS 82
4.1. Levantamiento topográfico	
4.2. Captación Cristo Rey	
4.3. Tramo de estudio del río Chonta	
4.4. Hidrología y obtención del caudal de diseñ	o 87
4.5. Caudales de aforo del río Chonta	
4.6. Sedimentos del río Chonta	
4.7. Datos del prototipo diseñado	
4.8. Diseño del modelo hidráulico	
4.9. Construcción del modelo físico	
4.10. Calibración del modelo físico	
4.11. Tiempos de ensayo en el modelo	
4.12. Ensayos en el modelo físico	
4.12.1. Ensayo en condiciones de captación c	colmatada 109
4.12.2. Ensayo en condiciones de captación o	lescolmatada 110
4.12.3. Eficiencia de poza disipadora de ener	gía 115

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
5.1. CONCLUSIONES	119
5.2. RECOMENDACIONES	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Vida útil de estructuras hidráulicas 12
Tabla 2 Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje 13
Tabla 3 Grupos hidrológicos según el tipo de suelo
Tabla 4 Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana
y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $Ia = 0.2s$) 17
Tabla 5 Coordenadas del hidrograma adimensional
Tabla 6 Clasificación de sedimentos por tamaño
Tabla 7 Distancias mínimas entre verticales recomendadas
Tabla 8 Escalas de traslación modelo prototipo y viceversa44
Tabla 9 Valores del coeficiente de rugosidad n
Tabla 10 Rugosidad de Manning para distintos materiales 46
Tabla 11 Escalas lineales utilizadas en modelos hidráulicos
Tabla 12 Datos obtenidos del ArcGis para cada subcuenca 67
Tabla 13 Coordenadas UTM y altitud de los puntos de muestreo de sedimentos
(calicatas) del río Chonta
Tabla 14 Caudales y tirantes del prototipo para la calibración
Tabla 15 Caudales y tirantes del modelo para la calibración
Tabla 16 Datos obtenidos del modelamiento con Hec-Ras 85
Tabla 17 Parámetros de la cuenca de estudio 87
Tabla 18 Caudales del río chonta a 150 m aguas abajo de la captación Cristo Rey 91
Tabla 19 Tamizado de los sedimentos del río Chonta, aguas arriba del barrage de la
captación Cristo Rey
Tabla 20 Diámetros efectivos de arenas y gravas del río Chonta aguas arriba del barrage
de la captación Cristo Rey
Tabla 21 Muestras de guijarros y cantos del río Chonta aguas arriba de la captación
Cristo Rey
Tabla 22 Conteo de guijarros y cantos del río Chonta para el análisis granulométrico 98
Tabla 23 Diámetros efectivos de los guijarros y cantos del río Chonta aguas arriba del
barrage de la captación Cristo Rey
Tabla 24 Datos del prototipo diseñado para el modelo físico a escala 1/20 99
Tabla 25 Datos de la poza disipadora de energía con fondo no horizontal 101
Tabla 26 Datos de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R.102
Tabla 27 Datos del diseño del modelo físico a escala reducida 1/20 102

Tabla 28 Datos del diseño de la poza disipadora de energía con fondo no horizontal a Tabla 29 Datos del diseño de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. a escala reducida 1/20...... 105
 Tabla 30
 Tirantes de agua obtenidos en la calibración del modelo físico a escala 1/20

 Tabla 31
 Caudales del río Chonta y duración para los ensayos
 108

 Tabla 32
 Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Augusto Weberbauer 126

 Tabla 33
 Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación La Encañada
 128

Tabla 35
Puntos del levantamiento topográfico
131

 Tabla 36
 Formato de aforo del río Chonta mediante correntómetro
 143

 Tabla 37
 Profundidades desde la regla transversal hasta el fondo del río Chonta sin
 sedimentos a escala 1/20..... 144
 Tabla 38
 Profundidades de los sedimentos del río Chonta a escala 1/20 en los ejes
 Tabla 39 Tirantes de agua, aguas arriba de la captación Cristo Rey a escala 1/20 en condiciones de captación colmatada......146

 Tabla 40
 Tirantes de agua a escala 1/20 en la salida de la poza disipadora de energía de

fondo no horizontal (a) y poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. (b) 148
 Tabla 41
 Profundidades del sedimento después de 46 horas con 58 minutos de iniciada
 la descolmatación para caudales de 0.94, 1.50, 2.15, 2.53 y 3.35 L/s a escala 1/20 149
 Tabla 42
 Profundidades del sedimento después de 59 horas con 56 minutos de iniciada
 la descolmatación para caudales de 4.47, 5.59, 7.25, 7.30 y 8.68 L/s a escala 1/20 150
 Tabla 43
 Profundidades del sedimento después de 67 horas con 32 minutos de iniciada
 la descolmatación para caudales de 10.06, 11.18, 12.30, 13.98 y 15.65 L/s a escala 1/20
 Tabla 44
 Profundidades del sedimento después de 71 horas con 33 minutos de iniciada
 la descolmatación para caudales de 16.77, 17.89, 19.57, 21.24 y 22.36 L/s a escala 1/20
 Tabla 45
 Profundidades del sedimento después de 73 horas con 30 minutos de iniciada
 la descolmatación para caudales de 23.48, 25.16, 26.83, 27.95 y 29.07 L/s a escala 1/20

Tabla 46 Profundidades del sedimento después de 74 horas con 44 minutos de iniciada
la descolmatación para caudales de 30.75, 32.42, 33.54, 34.66 y 35.94 L/s a escala 1/20
Tabla 47 Tirantes de agua, aguas arriba del barrage fijo-fusible de la captación
descolmatada Cristo Rey a escala 1/20 155
Tabla 48 Altura del sedimento acumulado en la poza disipadora de energía de fondo no
horizontal, después de 74 horas con 44 minutos de finalizado toda la descolmatación a
escala 1/20 157
Tabla 49 Altura del sedimento acumulado en la poza disipadora de energía tipo III de la
U.S.B.R., luego de 74 horas con 44 minutos de finalizado toda la descolmatación a escala
1/20
Tabla 50 Coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible de la captación Cristo Rey
Tabla 51 Eficiencia de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal, en
condiciones de captación colmatada a escala 1/20 160
Tabla 52 Eficiencia de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R., en
condiciones de captación colmatada a escala 1/20161
Tabla 53 Eficiencia de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal, en
condiciones de captación descolmatada a escala 1/20162
Tabla 54 Eficiencia de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R., en
condiciones de captación descolmatada a escala 1/20163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de ríos de acuerdo a su geometría	7
Figura 2 Representación esquemática del concepto de sinuosidad y de sus grad	dos 8
Figura 3 Longitud y perímetro de una cuenca	10
Figura 4 Ejemplo de hietograma de diseño	
Figura 5 Hidrograma adimensional	19
Figura 6 Eje imaginario de una partícula	
Figura 7 Barrage fijo-fusible	
Figura 8 Coeficiente de descarga para barrage fijo-fusible	
Figura 9 Partes de la captación con barrage fijo-fusible	30
Figura 10 Dimensiones del bocal	
Figura 11 Relación entre F1 e y_2/y_1 o d_2/d_1 para saltos en canales con pendient	te 35
Figura 12 Longitud de saltos en canales con pendiente	
Figura 13 Separación de bloques de piso	
Figura 14 Distribución de dados y bloques a lo largo de la poza	
Figura 15 Dimensiones del cuenco tipo III según la U.S.B.R	
Figura 16 Longitud del resalto hidráulico	39
Figura 17 Bloque deflector de poza tipo III U.S.B.R.	40
Figura 18 Partes de una caída inclinada	50
Figura 19 Ubicación política de la zona de estudio	53
Figura 20 Ubicación satelital de la captación Cristo Rey	54
Figura 21 Esquema de los procedimientos de la investigación	57
Figura 22 Levantamiento topográfico de la zona de estudio	58
Figura 23 Estructura de la zona de estudio vista desde aguas abajo	59
Figura 24 Delimitación de la cuenca del río Chonta mediante ArcGIS	60
Figura 25 Hietograma de diseño de la estación Augusto Weberbauer	62
Figura 26 Hietograma de diseño de la estación Encañada	63
Figura 27 Hietograma de diseño de la estación Granja Porcón	64
Figura 28 Área de influencia en la cuenca de las estaciones Augusto Weber	bauer, La
Encañada y Granja Porcón	65
Figura 29 Cobertura vegetal de la cuenca	66
Figura 30 Tipo de suelo de la cuenca	67
Figura 31 Sedimento extraído del río Chonta	69

Figura 32	Muestras de guijarros y cantos del río Chonta con su respectiva numeración
Figura 33	Sección de aforos del río Chonta
Figura 34	Sección y huella hídrica del río Chonta vista desde la margen izquierda hacia
la margen o	derecha del río
Figura 35	Secciones del río Chonta para el caudal dominante73
Figura 36	Construcción de la estructura (captación Cristo Rey) con metal liso
Figura 37	Taludes del cauce de concreto no pulido
Figura 38	Puntos de nivel con mortero para cada uno de los soportes del modelo
hidráulico.	
Figura 39	Vista superior del modelo hidráulico y sus partes
Figura 40	Seccionamiento y puntos de control en el modelo hidráulico
Figura 41	Puntos de control e inicio de colocación del sedimento en el modelo hidráulico
Figura 42	Medición de tirantes de agua sobre el barrage de la captación Cristo Rey para
la calibraci	ón del modelo
Figura 43	Medición de los tirantes de agua sobre el barrage del modelo durante la
calibración	
Figura 44	Vista superior del modelo hidráulico calibrado
Figura 45	Vista del bocal, antecanal y barrage de la captación Cristo Rey
Figura 46	Vista desde al pie de la Captación Cristo Rey
Figura 47	Perfil del río en el que se observa la socavación aguas abajo del barrage de la
captación (Cristo Rey
Figura 48	Perfil longitudinal del eje del río Chonta y la captación Cristo Rey
Figura 49	Curvas IDF de la estación Augusto Weberbauer
Figura 50	Curvas IDF de la estación Granja Porcón
Figura 51	Curvas IDF de la estación Encañada
Figura 52	Hidrograma del caudal de máximas avenidas para un $Tr = 30$ años
Figura 53	Gráfico de los caudales de aforo del río Chonta
Figura 54	Curva granulométrica de arenas y gravas del río Chonta aguas arriba del
barrage de	la captación Cristo Rey
Figura 55	Curva granulométrica de los guijarros y cantos del río Chonta, aguas arriba
del barrage	e de la captación Cristo Rey

Figura 56 Vista frontal de la captación Cristo Rey colmatada y la poza disipadora de
energía de fondo no horizontal a escala 1/20 109
Figura 57 Vista frontal de la captación Cristo Rey colmatada y la poza disipadora de
energía tipo III de la U.S.B.R
Figura 58 Vista frontal del barrage fijo-fusible a escala 1/20 111
Figura 59 Vista frontal del barrage fijo fusible en la descolmatación de la captación
Cristo Rey y la poza disipadora de energía de fondo no horizontal a escala 1/20 111
Figura 60 Vista frontal del barrage fijo fusible en la descolmatación de la captación
Cristo Rey y la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. a escala 1/20 112
Figura 61 Vista de la poza disipadora de fondo no horizontal con la deposición de
sedimentos luego de finalizar todo el modelamiento con una duración de 74 horas con 44
minutos 113
Figura 62 Vista de la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. con la deposición de
sedimentos luego de finalizar todo el modelamiento con una duración de 74 horas con 44
minutos
Figura 63 Coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible 114
Figura 64 Medición del tirante conjugado menor y mayor de la poza disipadora de fondo
no horizontal en condiciones de captación colmatada 115
Figura 65 Medición del tirante conjugado menor y mayor de la poza disipadora tipo III
de la U.S.B.R. en condiciones de captación colmatada 116
Figura 66 Relación de la eficiencia de disipación (E2/E1) contra el caudal (Q) a escala
1/20, en condiciones de captación colmatada 116
Figura 67 Medición del tirante menor y mayor de la poza disipadora de fondo no
horizontal en condiciones de captación descolmatada 117
Figura 68 Relación de la eficiencia de disipación (E2/E1) contra el caudal (Q) a escala
1/20, en condiciones de captación descolmatada 118
Figura 69 Levantamiento topográfico aguas arriba de la captación Cristo Rey 164
Figura 70 Obtención de puntos en el cauce del río Chonta 200 metros aguas arriba del
barrage de la captación Cristo Rey
Figura 71 Levantamiento topográfico de la captación Cristo Rey y del río Chonta vista
desde aguas abajo 165
Figura 72 Levantamiento topográfico del rio Chonta 80 metros aguas abajo del barrage
de la captación Cristo Rey

Figura 73 Aforo del río Chonta a 150.00 metros aguas abajo de la captación Cristo Rey
Figura 74 Aforo del río chonta a 150.00 metros aguas abaio de la captación cristo Rev
en el mes de sentiembre, obtenido un caudal menor de $0.214 \text{ m}^{3/s}$
Figure 75 Correntémetre PS 2120 marce PASCO y tube de Pitet utilizados para los
sforos
Figure 76 Apólicie granulamótrico superficiel del ría Chanta el Madición del cie "b" de
entes y quiinmos h) Materiales y homomiente nore el enólicia gronulomótrico 167
Einene 77 . Caliante Ola ana distancia da 50.00 materia dalla analisis granulometrico
Figura // Calicata 01 a una distancia de 50.00 metros del barrage de la captación Cristo
Rey
Figura 78 Calicata 02 a una distancia de 60.00 metros del barrage de la captación Cristo
Rey
Figura 79 Calicata 03 a una distancia de 74.00 metros del barrage de la captación Cristo
Rey
Figura 80 Calicata 04 a una distancia de 1.00 metros del barrage de la captación Cristo
Rey
Figura 81 Tamizado del material subsuperficial del río Chonta en el laboratorio de
mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca 170
Figura 82 Vista lateral de la captación Cristo Rey observando el barrage, la poza
disipadora de energía y el muro de protección 170
Figura 83 Vista lateral de la captación Cristo Rey observando el barrage, la poza
disipadora de energía y el antecanal 171
Figura 84 Vista frontal de la captación Cristo Rey tomada desde la margen izquierda del
río Chonta 171
Figura 85 Vista frontal de la captación Cristo Rey tomada desde la margen derecha del
río Chonta
Figura 86 Vista del río Chonta desde 200.00 metros aguas arriba de la captación Cristo
Rey
Figura 87 Parte convexa de la curva del río Chonta con presencia de sedimentos 173
Figura 88 Vista del río Chonta y muro de protección en la margen izquierda 173
Figura 89 Construcción de la estructura metálica del modelo físico
Figura 90 Colocación de puntos de nivel en cada uno de los soportes de la estructura,
emplazamiento de la base del modelo y verificación de la horizontalidad a través del nivel
de mano 174

Figura 91 Construcción de la estructura (modelo de la captación Cristo Rey a escala
1/20) con acero galvanizado
Figura 92
Figura 93 Colocación del sedimento escalado en el lecho del río Chonta a escala 1/20
Figura 94 Medición de tirantes de agua sobre el barrage del modelo físico para la
calibración
Figura 95 Ejes y puntos de sondeo del sedimento en el modelo físico a escala 1/20 177
Figura 96 Ejes transversales y puntos de sondeo del sedimento en la poza disipadora de
energía de fondo no horizontal
Figura 97 Ejes transversales y puntos de sondeo del sedimento en la poza disipadora de
energía tipo III de la U.S.B.R
Figura 98 Ejes trasversales con tres puntos (Y) en cada eje para medir los tirantes de
agua, aguas arriba del barrage, tirantes de agua en la poza disipadora de fondo no
horizontal y tirantes a la salida de la poza disipadora, además se observa la carga
hidráulica (H) del barrage fijo-fusible
Figura 99 Ejes trasversales con tres puntos (Y) en cada eje para medir los tirantes de
agua, aguas arriba del barrage, tirantes de agua en la poza disipadora tipo III de la
U.S.B.R. y tirantes a la salida de la poza disipadora, además se observa la carga hidráulica
(H) del barrage fijo-fusible
Figura 100 Vista lateral de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal (sin
sedimentos), a escala 1/20
Figura 101 Vista lateral de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal (con
sedimentos) a escala 1/20
Figura 102 Vista lateral de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. (sin
sedimentos) a escala 1/20
Figura 103 Vista lateral de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. (con
sedimentos) a escala 1/20

Palabras clave:

Barrage fijo-fusible, estructura perpendicular al flujo que tiene la función de elevar el tirante de agua en el cauce y evitar la colmatación frente al bocal, compuesto por una parte fija central y en los extremos un enrocado.

Caudal dominante, se define como la descarga de cauce lleno o descarga de un cierto periodo de retorno.

Poza disipadora de energía, su finalidad es disipar la energía del caudal que vuelve al cauce y evitar la erosión debido a las grandes velocidades del flujo.

Modelo hidráulico, es una representación esquemática a escala de una parte natural donde las obras están proyectadas en ella.

Eficiencia de poza disipadora de energía, se mide como la relación entre la energía cinética disipada y la energía cinética total del agua antes de ingresar a la poza.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo proponer una poza disipadora de energía aguas abajo de la captación Cristo Rey con barrage fijo-fusible ubicada en el río Chonta, centro poblado de Otuzco, distrito Baños del Inca, provincia de Cajamarca, mediante un modelo físico a escala reducida 1/20. Se verificó mediante la topografía y el software Hec-Ras el problema de socavación aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey, donde existe un desnivel entre el cauce aguas arriba y aguas abajo de la captación de 4.10 m; los sedimentos del lecho del río están constituidos por limos, arenas, gravas, guijarros y cantos con una distribución granulométrica no uniforme según Cu > 2 (Cu = 2.17), se realizó aforos durante el mes de abril de 2023 hasta abril de 2024 obteniendo un caudal máximo de 15.527 m³/s y un caudal mínimo de 0.214 m³/s; para el diseño se utilizó el caudal dominante de 64.30 m³/s debido a que dicho caudal es el que más interactúa con la estructura. Se modelaron dos pozas disipadoras a escala 1/20 una de fondo no horizontal y otro tipo III de la U.S.B.R. teniendo en cuenta las leyes de similitud, en la que, se obtuvo que la poza disipadora de fondo no horizontal tiene una eficiencia del 100% en ambos escenarios, tanto para condiciones de captación colmatada (con barrage fijo) como para condiciones de captación descolmatada (barrage fijo-fusible), mientras que la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. su eficiencia del 100% disminuye al aumentar los caudales hasta un 5.17% en condiciones de captación colmatada y un 16.65% en condiciones de captación descolmatada.

Keywords:

Fixed-fusegate barrage, structure perpendicular to the flow that has the function of raising the water flow in the channel and avoiding clogging in front of the nozzle, composed of a central fixed part and at the ends an embankment.

Dominant flow, defined as the discharge of full channel or discharge of a certain return period.

Energy dissipation pool, its purpose is to dissipate the energy of the flow returning to the channel and prevent erosion due to high flow velocities.

Hydraulic model, it is a schematic representation to scale of a natural part where the works are projected on it.

Energy dissipating pool efficiency is measured as the ratio between the dissipated kinetic energy and the total kinetic energy of the water before entering the pool.

ABSTRACT

The objective of this research was to propose an energy dissipation pool downstream of the Cristo Rey catchment with fixed-fuse barrage located in the Chonta River, town of Otuzco, Baños del Inca district, province of Cajamarca, by means of a physical model on a reduced scale of 1/20. The problem of scour downstream of the Cristo Rey catchment barrage was verified using the topography and the Hec-Ras software, where there is a difference in level between the upstream and downstream channel of the catchment of 4.10 m; the sediments of the riverbed are made up of silts, sands, gravel, pebbles and pebbles with a non-uniform particle size distribution according to Cu > 2 (Cu = 2.17), gauging was carried out during the month of April 2023 to April 2024 obtaining a maximum flow of 15.527 m3/s and a minimum flow of 0.214 m3/s; For the design, the dominant flow of 64.30 m3/s was used because this flow is the one that interacts the most with the structure. Two dissipative pools were modeled at a scale of 1/20, one with a nonhorizontal bottom and another type III of the U.S.B.R., taking into account the laws of similarity, in which it was obtained that the non-horizontal bottom dissipative pool has an efficiency of 100% in both scenarios, both for clogged catchment conditions (with fixed barrage) and for unclogged catchment conditions (fixed-fuse barrage). while the type III dissipative pool of the U.S.B.R. its efficiency of 100% decreases when the flows increase to 5.17% in conditions of clogged intake and 16.65% in conditions of unclogged catchment.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

La derivación del recurso hídrico en ríos de alta montaña conlleva a implantar en el cauce estructuras hidráulicas denominadas captaciones de derivación. En la actualidad las captaciones de derivación con barrage fijo tienden a colmatarse con sedimentos, es por ello que, la inclusión del barrage fusible en los diseños de captaciones de alta montaña es una opción para evitar el colapso de dichas estructuras por efectos de colmatación. El barrage de una captación está compuesto por una parte fija central y a los extremos la parte fusible con el objetivo de elevar el tirante de agua en el cauce para el ingreso de un caudal requerido por el bocal, además, impedir la colmatación frente al mismo. La parte fusible está compuesta por un enrocado la cual falla en una avenida dejando pasar los sólidos transportados por el río, una vez haya descendido el tirante de agua se reconstruye de forma manual para que siga cumpliendo la misma función (Huamán, J. 2016b).

1.1.2. Descripción del problema

En Cajamarca existen captaciones de derivación que se sitúan en las cuencas del Mashcón y del Chonta. El río Chonta se encuentra en la cuenca del Chonta donde se ubica la captación Cristo Rey, la cual está compuesta por un barrage fijo y colmatado de sedimentos hasta la corona del mismo, además, dicha captación ya no cuenta con poza disipadora de energía por lo que a lo largo de los años se ha venido socavando aguas abajo del barrage con el peligro de que pueda colapsar en una avenida máxima. Por lo tanto, para evitar estos problemas se propone diseñar las captaciones derivadoras con un barrage fijo-fusible, conjuntamente con una poza disipadora de energía para ello se determinará la eficiencia hidráulica de dos pozas disipadoras de energía para la captación Cristo Rey con barrage fijo-fusible, en condiciones de captación colmatada (barrage fijo) y en condiciones de captación descolmatada (barrage fijo-fusible), utilizando un modelo físico a escala reducida 1/20 para observar y obtener mejor los resultados.

1.1.3. Formulación del Problema

La captación Cristo Rey en el río Chonta con barrage fijo-fusible, Cajamarca, no cuenta con poza disipadora de energía.

1.2. Hipótesis

La captación Cristo Rey con barrage fijo-fusible requiere una poza disipadora de energía cuya eficiencia hidráulica depende de la configuración y distribución de los dados y bloques de dos tipos de pozas para reducir la energía cinética aguas abajo del barrage.

1.3. Justificación e Importancia de la Investigación

1.3.1. Justificación Científica

A partir del problema que tiene la captación Cristo Rey de no contar con una poza disipadora de energía se fijan unos objetivos para dar solución mediante el método científico. Es por ello que mediante un modelo físico a escala reducida permitirá determinar qué poza disipadora es más eficiente y poder emplearla en dicha captación.

1.3.2. Justificación Técnico – Práctica

Se siguen diseñando y construyendo captaciones de derivación tradicionales con barrage fijo y con poza disipadora de energía horizontal lo cual no es correcto, es por ello que, se debe diseñar una captación derivadora con barrage fijo-fusible y determinar la eficiencia de la poza disipadora de energía en condiciones de captación colmatada y en condiciones de captación descolmatada, donde podría servir como propuesta para reemplazar a la captación Cristo Rey, debido a que dicha captación puede colapsar sin poza disipadora de energía, y así los usuarios que utilizan este recurso hídrico se puedan seguir beneficiando.

1.3.3. Justificación Institucional y Personal

La Universidad Nacional de Cajamarca proporciona el conocimiento durante mi formación académica y proporciona el desarrollo de las tesis en bien de brindar soluciones a los problemas que se dan en las comunidades permitiendo mi superación y lograr mi graduación, por lo tanto, determinar la eficiencia de la poza disipadora de energía mediante un modelo físico a escala reducida es muy importante, ya que brinda datos precisos que se asemejan a la realidad y poder determinar qué poza disipadora es la más óptima para poder ser usada en los futuros diseños de captaciones en la región de Cajamarca y zonas parecidas a ésta, evitando el colapso de las estructuras y así los usuarios se seguirán beneficiando y contribuyendo en la economía de la región.

1.4. Alcances o Delimitación de la Investigación

El presente estudio se desarrolló en la captación derivadora Cristo Rey, ubicada en el río Chonta, Centro Poblado de Otuzco, distrito Baños del Inca, al noreste de la ciudad de Cajamarca. Se obtuvo en campo la pendiente, ancho y granulometría del río; Se determinó el caudal dominante del río Chonta en el tramo de estudio, y se realizó el estudio hidrológico de máximas avenidas para un periodo de retorno de 30 años mediante el método del Hidrograma Unitario del SCS, con información hidrológica de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones Augusto Weberbauer, La Encañada y Granja Porcón entre los años 1969 al 2023; para el diseño se utilizó el caudal dominante debido a que es el que más interactúa con la estructura. Luego se diseñó dos pozas disipadoras de energía una de fondo no horizontal y otro tipo III de la U.S.B.R. Por último, se realizó un modelo físico a escala reducida 1/20 de la captación Cristo Rey que permitió determinar la eficiencia de ambas pozas disipadoras mediante dos escenarios; la primera cuando el barrage es fijo y se encuentra colmatado de sedimentos y la segunda cuando el barrage es fijo-fusible es decir mediante la apertura del barrage fijo en ambos extremos permitiendo la descolmatación de la captación y el arrastre de sedimentos hacia las pozas disipadoras.

1.5.Limitaciones

Se utilizó el caudal dominante para el diseño teniendo en cuenta el costo económico del modelo físico a escala reducida, puesto que si se emplea un caudal para periodo de retorno mayor el costo es muy elevado y además se produciría un desbordamiento en ambos lados del río impidiendo una buena modelación.

En el modelamiento físico para estudiar la eficiencia de la poza disipadora de energía aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey, no se consideró las partículas en suspensión, por lo que para el estudio se utilizó un flujo de agua clara en la que ésta se combinó con los sedimentos que se ha colocado al modelo al momento de los ensayos.

1.6. Objetivos de la Investigación

1.6.1. Objetivo General

Proponer una poza disipadora de energía aguas abajo de la captación Cristo Rey con barrage fijo-fusible - Cajamarca, mediante un modelo físico a escala reducida 1/20.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la captación derivadora Cristo Rey del río Chonta-Cajamarca.
- Caracterizar el río Chonta 200 m aguas arriba y 80 m aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey.
- Determinar la eficiencia hidráulica de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal en condiciones de captación colmatada con barrage fijo, en un modelo físico a escala reducida 1/20.
- Determinar la eficiencia hidráulica de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal en condiciones de captación descolmatada con barrage fijo-fusible, en un modelo físico a escala reducida 1/20.
- Determinar la eficiencia hidráulica de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. en condiciones de captación colmatada con barrage fijo, en un modelo físico a escala reducida 1/20.
- Determinar la eficiencia hidráulica de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. en condiciones de captación descolmatada con barrage fijo-fusible, en un modelo físico a escala reducida 1/20.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación

2.1.1. A nivel Internacional

En la Tesis: *"Tanque disipador de energía en estructuras hidráulicas, en el laboratorio de ingenierías de la universidad cooperativa de Colombia sede Villavicencio"*. El objetivo de esta investigación es reducir la longitud de una poza disipadora de energía utilizando bloques para obtener un resalto adecuado con una pendiente de poza no muy elevada. Se realizaron seis ensayos con los bloques variando las distancias con pendientes diferentes, se tomaron datos de los tirantes conjugados con sus caudales respectivos permitiendo diseñar una longitud de poza disipadora óptima y generando un resalto hidráulico eficiente (Duarte, M., Palomino, Y., Vargas, P. 2020).

2.1.2. A nivel Nacional

En el estudio "Modelamiento numérico para mejorar la eficiencia de funcionamiento de las pozas disipadoras en ríos de alta pendiente: Caso de estudio Bocatoma San Pedro – Ayacucho". Se basa en la incidencia de la inclinación de las pozas para disipar la energía en ríos con pendiente alta. Se diseñaron y modelaron cinco captaciones con pozas disipadoras de pendientes variables: 0%, 1.52%, 3.04%, 4.56% y 6.08%. El modelamiento se realizó mediante el software IBER y se comparó los resultados de energía de las distintas pozas disipadoras, en donde la poza más eficiente es la con pendiente del 3.04% disipando la energía hasta un 30% con respecto a una poza de fondo horizontal, además disminuye la velocidad en un 4.9% en comparación con la poza más inclinada (Espejo, O., Zabaleta, Y. 2021).

2.1.3. A nivel Local

En el estudio *"Captación de Agua Superficial, en condiciones de Alta Montaña"*, se realizó utilizando un modelo físico a escala reducida 1/35 de una captación para riego de alta montaña que representa a las captaciones de las cuencas del Mashcón y del Chonta de Cajamarca, demostrando que, cuando el barrage es fijo-fusible se logra una autolimpieza de la zona frente al bocal, permitiendo el ingreso del agua hacia el canal de derivación sin ninguna dificultad obteniéndose una eficiencia de captación del 100% (Huamán, J. 2016b).

En la tesis denominada "Estructura disipadora de energía aguas abajo de la captación Tres Molinos-Cajamarca" presenta los resultados sobre la estructura que disipa eficientemente la socavación aguas abajo de la segunda poza disipadora de energía de la Captación Tres Molinos del Río Grande – Cajamarca, se elaboró el diseño de tres disipadores de energía y se estudiaron mediante un modelo físico a escala 1/25, donde la estructura más eficiente es de fondo no horizontal, disipando hasta un 50% la energía que produce la socavación (Herrera, O. 2019).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Captación derivadora en río de montaña

Las captaciones son estructuras hidráulicas ubicadas en un río que se encargan de derivar un cierto caudal de agua (caudal de dotación). Los tipos de captaciones de derivación los clasifica en cuatro: Toma directa, toma mixta o convencional, toma móvil y toma Tirolesa o Caucasiana (Mansen, A. 2015).

2.2.2. Topografía

La topografía de una superficie de terreno se basa en la realización de operaciones necesarias para obtener un grupo de puntos con coordenadas y altitudes respecto de un sistema de referencia para luego ser representado en un plano (Gonzáles, A. 2008).

2.2.2.1. Cotas y pendientes

Las cotas se obtienen del levantamiento topográfico y con estas se procede a calcular la pendiente de una manera sencilla, lo que vendría a ser la diferencia de cotas entre la longitud horizontal que los separa a dichos puntos, al resultado se lo multiplica por cien para obtenerlo en porcentaje.

$$P\% = \left(\frac{\Delta C}{L}\right) 100 \dots (1)$$

2.2.2.2. Pendiente del río

El desnivel de un segmento de río es la diferencia del extremo inicial y final entre la distancia horizontal de dicho segmento. El resultado es un valor aproximado ya que cada segmento de río tiene un valor propio, esto quiere decir que mientras más segmentos se miden mayor será la aproximación del desnivel o la pendiente (Breña, A., Jacobo, M. 2006).

2.2.2.3. Escala de los planos topográficos

Se brinda las siguientes escalas topográficas según el tipo de plano requerido en el estudio:

- Levantamiento en planta del cauce del río, aguas arriba y aguas abajo del eje del barrage, la escala debe ser de 1:2000.
- Para localizar la zona de ubicación de la captación, la escala no debe ser menor de 1:500.
- Para el perfil longitudinal del río, la escala recomendada es H = 1:2000 y V = 1:200.
- Secciones transversales del cauce del río, la escala varía entre 1:100 y 1:200 (Mansen, A. 2015).

2.2.3. Fluviomorfología

La forma de los ríos se da mediante diversos factores que intervienen en el flujo, tales como sus propiedades y características del mismo fluido, además de los parámetros hidráulicos como también del tamaño y forma del material de fondo y de los costados de los ríos. Las formas más comunes que presentan los ríos de acuerdo a su geometría son los meandreantes, rectos y trenzados (Apaclla, R. 2014).

Figura 1

Tipos de ríos de acuerdo a su geometría



Nota. Fuente: Adaptado de (Simons, B., Julien, Y. 1984).

La sinuosidad de un río es la relación entre la longitud del talweg y la longitud del valle, donde el talweg viene a ser la parte más profunda del río en una sección transversal. Según su morfología a los ríos se los clasifica según la sinuosidad en baja (S < 1,3), moderada (1,3 < S < 2) y alta (S > 2), en algunos libros la sinuosidad lo denominan con la letra K. El río perfectamente recto tendría un valor de 1 y el valor máximo tiene un valor de 4 que vendría a ser un río meandreante (Rocha, A. 2010).

Figura 2

Representación esquemática del concepto de sinuosidad y de sus grados



Nota. Fuente: Adaptado de (Rocha, A. 2010)



Donde:

S: Sinuosidad

ABC: Longitud del talweg

AC: Longitud del valle

Los ríos se clasifican según su fisiografía como ríos de montaña (juventud), ríos de piedemonte (madurez) y ríos de llanura (vejez) (Ochoa, T. 2011).

Ríos de montaña: Se caracterizan por poseer pendientes fuertes (S>6%), la sinuosidad es (K<1.5), en sus cauces se observa generalmente bloques, cantos rodados con poco de grava y casi nada de finos donde (D/5>7). La velocidad del agua en las avenidas puede alcanzar los 6 m/s.

- Ríos de piedemonte: Son ríos generalmente de grava y arena, su pendiente 1.5 ≤S%≤6, además el D (diámetro medio) está entre 1.5<D/5≤7 y su velocidad está entre 1.5 a 3.0 m/s.
- Ríos de llanura: Tienen pendientes S≤0.5%, en cauces arenosos 1<D/5≤5 y la velocidad en crecientes 2 a 3 m/s.

2.2.4. Hidrología

La hidrología es la ciencia que se encarga del estudio del agua sobre la tierra en sus diferentes fases, como su desplazamiento y distribución. Su aplicación es muy amplia tales como en el abastecimiento de agua potable, irrigación, generación de energía eléctrica, drenaje, entre otros. La hidrología ayuda a resolver problemas que se presentan en el diseño, para poder planear y darle un óptimo manejo al recurso hídrico (Chow, V., Maidment, D., Mays, L. 1994).

2.2.4.1. Cuenca Hidrográfica

Es una superficie inclinada por donde el agua de precipitación que cae una de ella se infiltra y la restante se moviliza en forma de escorrentía formando un solo curso de agua como puede ser un río (Villón, M. 2002).

2.2.4.2.Área de la cuenca

El área de una cuenca es la superficie que se encuentra dentro del perímetro de la cuenca o también llamado divisoria de aguas, se puede obtener con facilidad mediante herramientas informáticas, el más común que se usa en la actualidad es el software ArcGis (Ibañes, S., Moreno, H., Gisberth, J. 2014).

2.2.4.3.Perímetro de la cuenca

El perímetro representa la forma de la cuenca y es la medida que abarca la parte exterior como se muestra en la figura 3. Se obtiene directamente del programa ArcGis (Ibañes, S., Moreno, H., Gisberth, J. 2014).

2.2.4.4.Longitud del cauce principal

La longitud del cauce principal de la cuenca figura 3. Viene a ser la distancia que recorre el río desde el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba (Ibañes, S., Moreno, H., Gisberth, J. 2014).

Figura 3

Longitud y perímetro de una cuenca



Nota. Fuente: Adaptado de (Ibañes, S., Moreno, H., Gisberth, J. 2014)

2.2.4.5.Pendiente media del cauce

Es la relación entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud (Ibañes, S., Moreno, H., Gisberth, J. 2014).

Donde:

h: desnivel altitudinal, (km).

L: longitud del cauce, (km).

2.2.4.6.Curva hipsométrica

Esta curva representa mediante una gráfica el relieve de una cuenca. Para el gráfico se representa la superficie drenada en porcentaje o en km2, que se proyecta hasta un determinado nivel (Ibañes, S., Moreno, H., Gisberth, J. 2014).

2.2.4.7. Altura media de la cuenca

La altura media la elevación promedia referida al nivel de la estación de aforo de la boca de la cuenca, puede ser calculada mediante la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total (Ibañes, S., Moreno, H., Gisberth, J. 2014).

2.2.4.8.Pendiente media de la cuenca

Es la media ponderada de las pendientes de todas las superficies de la cuenca donde viene a ser la sumatoria del producto de las longitudes de cada curva de nivel con su respectiva equidistancia sobre el área de toda la cuenca, además este parámetro es un índice de la velocidad media de la escorrentía (Ibañes, S., Moreno, H., Gisberth, J. 2014).

 $J = 100 \frac{\sum \text{Li} * \text{E}}{\text{A}} \dots (4)$

Donde:

J: pendiente media de la cuenca

Li: longitud de cada una de las curvas de nivel, km

E: equidistancia de las curvas de nivel, km

A: superficie de la cuenca, km²

2.2.4.9. Tiempo de concentración (Tc)

Es el tiempo que una gota de agua tarda en recorrer desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida de esta. Una vez ocurrido este tiempo se considera que toda la cuenca aporta a la salida. El tiempo de concentración depende de muchos factores como la pendiente de la cuenca, su área, la longitud de recorrido desde la divisoria hasta la salida, el tipo de suelo y la cobertura vegetal (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Existen diversas fórmulas para calcular el tiempo de concentración, pero para el presente estudio se utilizarán las fórmulas que más se adaptan, la de Kirpich y la del Soil Conservation Service (SCS), donde se obtendrá un promedio aritmético entre ambos resultados de cada fórmula.

Fórmula de Kirpich:

 $t_{c} = 0.01947 x L^{0.77} x S^{-0.385}...(5)$

Donde:

L: longitud de máximo recorrido de aguas arriba hasta la salida, m

S: pendiente promedio de la cuenca, m/m

Fórmula del SCS:

Donde: Lc: longitud del cauce, m CN: curva número S: pendiente promedio de la cuenca, m/m

2.2.4.10. Periodo de retorno

Se mide en años y es el tiempo en que el valor de un caudal máximo en una avenida es igualado o superado una vez cada "T" años. Para utilizar en diseños de obras, es necesario considerar la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil es determinado por:

 $R = 1 - (1 - 1/T)^{n}....(7)$

Donde:

R: riesgo de falla admisible

T: periodo de retorno

N: vida útil, en años

Tabla 1

Vida útil de estructuras hidráulicas

COMPONENTES	VIDA ÚTIL	
Obras de Captación	25 - 50	_
Conducción	20 - 30	
Planta de Tratamiento	20 - 30	
Tanque de almacenamiento	30 - 40	
Tubería Principal de Red	20 - 25	
Tubería Segundaria de la Red	15 - 20	

Nota. Fuente: Adaptado de (Guerrero, V. 2015)

Tabla 2

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (%)
Puentes	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y	30
badenes	
Alcantarillas de paso quebradas menores y	35
descarga de agua de cunetas	
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

Nota. Fuente: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

2.2.4.11. Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos

2.2.4.11.1. Modelos de distribución

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; se utilizaron para el estudio las siguientes funciones (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

- La distribución normal
- La distribución Log Normal 3 parámetros
- La distribución Gumbel
- Distribución Gamma de 3 parámetros o Pearson tipo III
- Distribución Log Pearson tipo III

2.2.4.11.2. Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida. Se realizó la prueba mediante el método de Kolmogorov – Smirnov, la cual permite elegir la que mejor se ajuste.

2.2.4.12. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia

Son elementos de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

La intensidad es la cantidad de precipitación (lluvia) en un determinado tiempo y es representado por:

 $i = \frac{P}{Td} \dots (8)$

Donde:

P: es la profundidad de lluvia (mm)

Td: es la duración, (horas)

La frecuencia está expresada en función del periodo de retorno, T, que es el tiempo promedio entre los eventos de precipitación de interés que igualan o exceden la magnitud (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Para duraciones de tormentas menores a 1 hora y no se cuente con registros para determinar las intensidades máximas se puede calcular mediante el método de Dick Peschke, que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Donde:

Pd: precipitación total, (mm)

d: duración, (minutos)

P24h: precipitación máxima en 24 horas, (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación Pd entre la duración.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación:

Donde:

I = Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n = factores característicos de la zona de estudio

T = período de retorno en años

t = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min), (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011)

2.2.4.13. Curva Número SCS

Según Soil Conservation Service plantearon un método para determinar las abstracciones de una tormenta (precipitación). Una vez que inicia la precipitación (lluvia) una parte de ella se infiltra en un determinado tiempo, luego de ello se da lugar a la escorrentía potencial lo que sería la diferencia de la precipitación con la infiltración (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Para calcular el valor del CN se requiere saber el tipo de suelo y su uso, por lo que, se establece un grupo hidrológico de suelo, se muestra en la tabla N°3 (ANA, 2015).

Tabla 3

Grupos hidrológicos según el tipo de suelo

DESCRIPCIÓN DE SUELOS	SIMBOLOGÍA	GRUPO	
		HIDROLÓGICO	
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol	ACh-ALh-LXh	С	
háplico			
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol	ACh-ALh-LVx	С	
crómico			
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	А	
Cambisol dístrico - Acrisol háplico	CMd-ACh	С	
Cambisol dístrico - Acrisol háplico - Lixisol			
háplico	CMd-ACh-LXh	С	
Cambisol dístrico - Alisol háplico			
Cambisol dístrico - Nitisol háplico	CMd-ALh	С	
Cambisol éutrico - Phaeozem háplico	CMd-NTh	С	
Cambisol éutrico - Vertisol éutrico	CMe-PHh	В	
Fluvisol éutrico - Gleysol éutrico	CMe-VRe	С	
Fluvisol éutrico - Regosol éutrico	FLe-GLe	В	

Gleysol dístrico - Cambisol dístrico	FLe-RGe	В
Gleysol dístrico - Histosol fíbrico	GLd-CMd	В
Gleysol dístrico - Lixisol háplico - Fluvisol	GLd-HSf	D
dístrico	GLd-LXh-FLd	А
Leptosol dístrico - Afloramiento lítico		
Leptosol dístrico - Andosol úmbrico -	LPd-R	В
Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	В
Leptosol dístrico - Andosol vítrico		
Leptosol dístrico - Cambisol dístrico -	LPd-ANz	В
Regosol dístrico	LPd-CMd-RGd	В
Leptosol dístrico - Regosol dístrico -		
Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	В
Leptosol éutrico - Afloramiento lítico		
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico	LPe-R	В
Leptosol éutrico - Cambisol éutrico - Regosol	LPe-CMe	С
éutrico	LPe-CMe-RGe	В
Leptosol éutrico - Kastanozem háplico -		
Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	В
Leptosol éutrico - Regosol éutrico -		
Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	В
Leptosol lítico - Afloramiento lítico		
Lixisol háplico - Gleysol dístrico	LPq-R	В
Luvisol crómico - Cambisol éutrico	LXh-GLd	В
Regosol dístrico - Afloramiento lítico	LVx-CMe	С
Regosol dístrico - Cambisol dístrico	RGd-R	В
Regosol éutrico - Andosol móllico	RGd-CMd	С
Regosol éutrico - Calcisol háplico	RGe-ANm	С
Regosol éutrico - Cambisol éutrico	RGe-CLh	С
Solonchak háplico - Leptosol éutrico	RGe-CMe	С
	SCh-LPe	А

Nota. Fuente: Adaptado de (ANA, 2015)

Para saber el tipo de uso de tierra según el tipo de suelo se presenta la tabla N°4. Si en la cuenca existen diferentes tipos y usos de tierra se determinará un CN compuesto (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Tabla 4

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s)

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA		GRUPO			
		HIDROLÓGICO			
		DEL SUELO			0
		A	B	C	D
Tierra cultivada: sin tratamientos de con	nservación	72	81	88	91
con tratamiento de co	nservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres		68	79	86	89
condiciones óptimas		39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin		45	66	77	83
hierbas, cubierta buena		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios,					
etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más		39	61	74	80
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos Industriales /72% impermeables)		81	88	81	93
Residencial:					
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable					
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Nota. Fuente: Hidrología Aplicada (Chow, V. 2010).
2.2.4.14. Hietograma de diseño mediante bloques alternos

El hietograma de diseño se obtiene a partir de las curvas IDF especificando el periodo de retorno que se quiere trabajar, mediante el método de bloques alternos, que relaciona la precipitación (mm) caída a lo largo de un determinado tiempo de modo secuencial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Figura 4

Ejemplo de hietograma de diseño



Nota. Fuente: Adaptado del Manual de Hidrología, hidráulica y drenaje del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

2.2.4.15. Precipitación Efectiva

La precipitación efectiva es la que comúnmente llamamos escorrentía, es aquella precipitación que no es retenida mediante infiltra en el suelo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011).

Mediante el método del Soil Conservation Service (SCS) permite calcular la precipitación efectiva como una precipitación de la precipitación acumulada:

Donde:

PT: precipitación total, (mm)

S: almacenamiento del suelo, (mm)

Para calcular el almacenamiento del suelo se usa la siguiente fórmula que está en función de la CN:

2.2.4.16. Hidrograma Unitario Adimensional SCS

Se han realizado diversos estudios de hidrogramas en diferentes cuencas donde obtuvieron hidrogramas adimensionales, en la que dividieron la escala de caudales con el caudal pico y la escala de tiempos entre el tiempo del caudal pico y se obtuvo un hidrograma como el que se muestra a continuación (Villón, M. 2002).

Figura 5

Hidrograma adimensional



Nota. Fuente: Adaptado de (Villón, M. 2002)

Teniendo los valores picos del hidrograma se puede obtener el hidrograma resultante multiplicando las coordenadas por tp y Qp. A partir de la siguiente tabla (Villón, M. 2002).

Tabla 5

Coordenadas del hidrograma adimensional

t/tp (hr)	Q/Qp (m ³ /s)
0.00	0.000
0.10	0.015
0.20	0.075
0.30	0.160
0.40	0.280
0.50	0.430
0.60	0.600
0.70	0.770
0.80	0.890
0.90	0.970
1.00	1.000
1.10	0.980
1.20	0.920
1.30	0.840
1.40	0.750
1.50	0.650
1.60	0.570
1.80	0.430
2.00	0.320
2.20	0.240
2.40	0.180
2.60	0.130
2.80	0.098
3.00	0.075
3.50	0.036
4.00	0.018
4.50	0.009
5.00	0.004

Nota. Fuente: Adaptado de (Villón, M. 2002)

Mediante las siguientes expresiones se obtener el tiempo pico (tp):

$t_b = 2.67(t_p)$	(13)
$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \dots$	(14)
$t_r = 0.60t_c$	(15)

La duración en exceso (de) depende del tamaño de la cuenca:

Cuencas pequeñas:

$d_e = t_c $ (16)
Cuencas grandes:
$d_e = \sqrt{2t_c} \dots $
Donde:
tb: tiempo base, (horas)
tr: tiempo de retardo, (horas)
tc: tiempo de concentración, (horas)
Luego se calcula el caudal pico:
$Q_p = 0.208 \frac{hpe*A}{t_p} \tag{18}$
$t_p = 0.5t_c + 0.6t_c$ (19)
Donde:

Hpe: Precipitación efectiva (Villón, M. 2002).

2.2.5. Sedimentos

2.2.5.1. Granulometría

Los cauces de los ríos no son iguales y se los clasifica en cohesivos (arenas, arcillas y limos) y granulares (partículas sueltas con tamaño variable). La propiedad más importante pasa a ser el tamaño, como representación del volumen de la partícula. Por tamaño se entiende la dimensión del segundo eje (eje b) de un elipsoide al que se puede asimilar una partícula. Obsérvese que b es la dimensión decisiva para que una partícula pase o sea retenida por un tamiz (Martín, J. 2001).

Figura 6

Eje imaginario de una partícula



Nota. Fuente: Adaptado de (Ochoa, T. 2011)

En la siguiente tabla se observa la clasificación de los sedimentos según su tamaño:

Tabla 6

Clasificación de sealment	os por iamano	
Nombre	Tamaño	Tamizado
Canto rodado		
-Muy grande	4m-2m	

Clasificación de sedimentos por tamaño

	-Muy grande	4m-2m						
	-Grande	2m-1m						
	-Mediano	1m-0.5m						
	-Pequeño	0.5m-0.25m						
Guijari	ro							
	-Grande	286mm-128mm						
	-Pequeño	128mm-64mm						
Grava								
	- Muy gruesa	64 mm - 32 mm	Pasa el tamiz 3" y es					
	- Gruesa	32 mm - 16 mm	retenido por el tamiz					
	- Mediana	16 mm - 8 mm	N°4					
	- Fina	8 mm - 4 mm						
	- Muy fina	4 mm - 2 mm						
Arena								
	- Muy gruesa	2 mm - 1 mm	Pasa el tamiz N°4 y					
	- Gruesa	1 mm - ½ mm	es retenido por el					
	- Mediana	½ mm - ¼ mm	tamiz N° 200					
	- Fina	¼ mm - 1/8 mm						
Limo		1/16 mm - 1/256 mm	Pasa el tamiz N°200					
Arcilla	ı	1/256 mm - 1/4096 mm	Pasa el tamiz N° 200					

Nota. Fuente: Adaptado de (Bolinaga, J. 1979)

2.2.5.2. Parámetros representativos de la curva granulométrica

El coeficiente de uniformidad de Hazen, es un valor que determina la uniformidad del material si su valor es (Cu>2) se dice que es un material no uniforme mientras que si su valor decrece hasta la unidad se dice que es un suelo perfectamente uniforme y se lo determina con la fórmula siguiente (Apaclla, R. 2014).

Си	$=\frac{d_{60}}{d_{10}}$:0)
	u10	

2.2.5.3. Diámetro medio

Se calcula sacando la media aritmética del diámetro de las partículas de la muestra, es decir el 50% de la muestra tiene un tamaño inferior al diámetro medio y 50% un tamaño de la muestra superior (Herrera, O. 2019).

2.2.5.4. Diámetros efectivos

Son diámetros de la forma Dx lo que equivale al diámetro o tamaño por debajo del cual queda el x% del suelo, en peso (Herrera, O. 2019).

Se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$D_{\chi} = \left[\frac{D_2 - D_1}{\log \%_2 - \log \%_1} * (\log \%_{\chi} - \log \%_1)\right] + D_1....(21)$$

Donde:

D2: Tamiz superior al diámetro buscado

D1: Tamiz inferior al diámetro buscado

%2: Porcentaje de material que pasa por el tamiz superior

%1: Porcentaje de material que pasa por el tamiz inferior

%x: Porcentaje de material que se desea encontrar

Cabe mencionar que el D50 no es igual al diámetro medio.

2.2.5.5.Técnicas de muestreo de sedimentos

Si se requiere obtener la resistencia hidráulica de un tramo de río se debe realizar un muestreo superficial del material del cauce debido que son los que definen la rugosidad, de lo contrario si se desea analizar la textura durante una avenida es adecuado hacer un muestreo general de los materiales de manera superficial y subsuperficial (Ochoa, T. 2011).

El muestreo se debe hacer en toda la longitud del río que se desea estudiar y la cantidad de muestras será según la homogeneidad del material, para un tramo de unos cien metros de longitud con material homogéneo sólo será necesario un solo muestreo, cada muestreo

se tiene que realizar de manera superficial como subsuperficial en el cauce y luego se realizará un análisis granulométrico compuesto mediante un promedio aritmético (Ochoa, T. 2011).

• Métodos para tomar muestras

-Método Volumétrico: Este método se utiliza para realizar un análisis granulométrico por peso en el laboratorio que se emplea para arenas y gravas. Consta de tomar un volumen de material subsuperficial del lecho del río retirando primero la capa superficial en una profundidad parecida al tamaño de la mayor partícula que se observa en la superficie. Para tomar el volumen de la muestra debe ser representativo del material del lecho del río en la que la mayor partícula extraída no tiene que representar más del 1% en peso de toda la muestra (Ochoa, T. 2011).

-Método por conteo: Se aplica para cantos y guijarros y consiste en el conteo del material superficial del cauce de forma aleatoria de un cierto tramo de río, de cada muestra contada se mide el eje intermedio de las partículas (b) mayor a 13 mm. Cada muestra se mide y agrupa dentro de un tamaño parecido o intervalo de clase y luego se desecha. Es necesario realizar un muestreo entre 75 a 100 partículas, si entre el material grueso existe la presencia de arenas y gravas se analizan con el método anterior y luego se combinan para obtener una granulometría compuesta (Ochoa, T. 2011).

2.2.6. Colmatación

La colmatación también se le conoce como azolvamiento que es el proceso en el cual la corriente fluvial acarrea al material sólido y es depositado dentro de un embalse provocando la pérdida de la vida útil. La palabra azolvamiento viene de la palabra azolve que significa "sedimento". La colmatación es un proceso inevitable que ocurre en el tiempo, esto se debe a la magnitud del aporte sólido de la cuenca producto de la erosión (Rocha, A. 2006).

2.2.7. Rugosidad de Manning

La ecuación que permite estimar el coeficiente de rugosidad de Manning para el río Chonta de Cajamarca es la siguiente (Burgos, N. 2016):

Donde:

d30: tamaño del material de fondo en metros, tal que el 30% del material por peso es menor. El (d_{30}) es el diámetro representativo en cualquier parte del río Chonta donde se haga un análisis granulométrico.

2.2.8. Caudal

2.2.8.1. Aforos (método área - velocidad)

El aforo en ríos se debe realizar una vez por semana mediante dos métodos dependiendo del nivel de agua y la accesibilidad de ingreso al cauce. El método del flotador empleado cuando el nivel de agua ha aumentado considerablemente y es imposible ingresar al río y el método por vadeo cuando sea accesible tomar velocidades dentro del cauce, mediante Correntómetro o tubo de Pitot. En el caso de estos dos últimos se realiza un seccionamiento cada 50 cm y en el eje central de cada sección se mide el tirante de agua y a un 60% de profundidad de este se mide la velocidad (Huamán, J. 2016b).

A continuación, se tiene las distancias para el seccionamiento de las verticales según el ancho del río:

Tabla 7

Ancho total mínimo del río (m)	Distancia entre verticales (m)
Menos de 2	0.20
2 - 3	0.30
3 - 4	0.40
4 - 8	0.50
8 - 15	1.0
15 - 25	2.0
25 - 35	3.0
35 - 45	4.0
45 - 80	5.0
80 - 160	10.0
160 - 350	20.0

Distancias mínimas entre verticales recomendadas

Nota. Fuente: Adaptado de (Villón, M. 2002)

-Aforo con flotador: Este método es fácil y rápido para estimar el caudal de un río que pasa por su sección transversal. Permite calcular las velocidades superficiales del agua

mediante flotadores (botellas, troncos o cualquier objeto) que pueda flotar y sea visible en el agua. Para el caso de botellas se debe llenar las ³/₄ partes y luego tapar herméticamente (Chamorro, I. 2011).

En cuanto a la medición se debe escoger un tramo recto "A" y "B" donde no exista la presencia de piedras grandes que pueda afectar la medición, la distancia entre "A" y "B" debe ser entre 10 y 30 metros. Se debe lanzar como mínimo 3 flotadores en la margen derecha, 3 en la parte central y 3 en la margen izquierda del río, donde mediante un cronómetro se tomará los tiempos que se tardan en recorrer para luego realizar un promedio aritmético. Mediante fórmula se calcula las velocidades medias y a estas se los debe multiplicar por un factor de 0.85. Finalmente calculando las áreas y teniendo las velocidades por la ecuación de continuidad se obtendrá el caudal de aforo (Chamorro, I. 2011).

-Aforo con Correntómetro: Es un instrumento de mayor exactitud para medir velocidades de agua, cuenta con una hélice en la que va sumergido y una pantalla donde arroja las velocidades directamente. Para determinar el caudal se realiza el seccionamiento y en cada tramo se va midiendo la velocidad al 60% del tirante de agua, luego con el área obtenida de la sección se obtiene el caudal aforado de la misma forma que en el método del flotador.

-Caudal de aforo

Las velocidades de una corriente de agua se miden utilizando correntómetro en los ejes de cada tramo sobre una sección transversal. El área de la sección transversal se determina mediante mediciones y el caudal resulta como (Novák, P., Moffat, A., Nalluri, C. 2001):

 $Q = \sum AiVi \qquad (23)$

Donde:

Ai: área parcial de la sección hidráulica "i" del río.

Vi: velocidad media en la franja "i"

2.2.8.2. Caudal dominante

Se lo define como la descarga de cauce lleno o descarga de un cierto periodo de retorno, o bien la descarga con el "nivel de agua de construcción del lecho" en el que se da el mayor volumen de transporte de sedimentos por año (Novák, P., Moffat, A., Nalluri, C. 2001).

El caudal dominante también se le llama caudal de cauce lleno, caudal formativo o efectivo. Este caudal se determina mediante la geometría hidráulica del río (Martín, J. 2001).

El caudal dominante se determina en el presente estudio mediante la fórmula de Manning, donde el n de Manning, la pendiente del río, el área de la sección y el radio hidráulico se determinará en un tramo de río en la zona de estudio.

 $Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n}$ (24)

Donde:

Q: caudal, (m3/s)
A: área de la sección, (m2)
R: radio Hidráulico, (m)
S: pendiente del río, (m/m)
n: coeficiente de rugosidad de Manning

2.2.9. Diseño de captación derivadora de alta montaña con barrage fijo-fusible

Es una captación que evita la colmatación del bocal ubicado aguas arriba del barrage. El concepto de captación derivadora de alta montaña con barrage fijo-fusible fue dado por (Huamán, J. 2016a).

2.2.9.1. Barrage fijo-fusible

El barrage fijo-fusible cumple la función de elevar el tirante de agua en el cauce y evitar la colmatación frente al bocal. El barrage fusible está compuesto por un enrocado y este falle en una avenida y permita el paso de los sedimentos que transporta el río. Una vez haya descendido el nivel de agua se vuelve a colocar el enrocado de forma manual (Huamán, J. 2016a).

Figura 7

Barrage fijo-fusible



Nota. Fuente: Adaptado de (Huamán, J. 2016)

El gasto que pasa sobre y a través del barrage fijo-fusible, antes del colapso, está dado por:

 $Q = C_{JS} T H_{JS}^{3/2}$ (25)

Donde:

Q: descarga sobre y a través del barrage fijo-fusible.

C_{JS}: coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible.

T: longitud del barrage fijo-fusible.

HJS: carga hidráulica del barrage fijo-fusible.

Si se desprecia la velocidad de aproximación $H_{JS} \approx H$.

El coeficiente de descarga C_{JS} ha sido obtenido en forma experimental y se presenta en la figura 8.

Coeficiente de descarga para barrage fijo-fusible



Nota. Fuente: Adaptado de (Huamán, J. 2016)

-Altura del barrage fijo-fusible

La altura "P" del barrage fijo- fusible está dado por la siguiente expresión:

$$P = \bar{x} + h_0 + d'_b T a n \theta + \Delta h \qquad (26)$$

Donde:

 \bar{x} : ubicación del bocal, m

h₀: carga hidráulica del bocal, m.

T: ancho del cauce, m.

d'b: distancia entre el eje del barrage y el eje del bocal, m.

 θ : ángulo formado por la horizontal y el fondo longitudinal del cauce

 Δ h: pérdida de energía por rejilla, m.

-Geometría del barrage fijo-fusible

La parte fija del barrage ocupa la zona central del cauce, tiene una geometría trapezoidal que sus taludes contribuyen a la estabilidad estructural. El talud aguas arriba es 1:1(H:V) y el talud aguas abajo es de 2.5:1(H:V), el ancho de corona debe ser 0.40 m como mínimo por razones constructivas. La parte fusible, también es trapezoidal, puede tener taludes aguas arriba y aguas abajo 1:1 (H:V) y un ancho mínimo de corona (Ac) (Huamán, J. 2016a):

 $A_c = 2(d_{90})$ (28)

Figura 9

Partes de la captación con barrage fijo-fusible



Nota. Fuente: Adaptado de (Huamán, J. 2016)

-La longitud del barrage fusible

Mediante un modelo físico realizado se determinó que la longitud más adecuada del barrage fusible es del 10% del ancho del río, y se ubica en cada costado del barrage fijo (Huamán, J. 2016a).

Lbf = 0.1 T....(29)

Donde:

Lbf: longitud del barrage fusible, m

T: ancho del río, m

2.2.9.2. Bocal

El bocal de una captación es el lugar por donde ingresa el agua requerida desde el río. Este caudal es llamado (caudal de dotación "Qo") en la que al ingresar por el bocal genera una carga hidráulica "ho" (Huamán, J. 2016a).

Figura 10

Dimensiones del bocal



Nota. Fuente: Adaptado de (Huamán, J. 2016)

La carga hidráulica se calcula con la siguiente expresión:

$$h_0 = \left(\frac{Q_0}{0.544\sqrt{g}L_b}\right)^{2/3}....(30)$$

La longitud "L_b" del bocal debe ser igual al ancho de la plantilla del antecanal y la altura " h_b " debe estimarse con la expresión 30 y 32.

$\mathbf{h}_{b} = \mathbf{h}_{0} + \mathbf{h}_{l}$					•••••	(31)
hı	=	Δh +	5	a	10	cm
				(32))	

La pérdida por rejilla " Δh "se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta h = K \left(\frac{e}{E}\right)^{4/3} \frac{V_1^2}{2g} \tag{33}$$

Donde:

h₀: carga del bocal, m.

Qo: caudal de derivación, m^3/s .

g: aceleración de la gravedad terrestre, m/s^2

 Δh : pérdida por rejilla, m. (mínimo 10 cm)

e: espesor de los barrotes, m.

E: espaciamiento entre barrotes, m. Para rejillas finas (3/8" a 1") y para proteger a los peces, el valor de E es del orden de los 3 cm e incluso 1 cm.

K: factor que depende de la geometría de la sección transversal de los barrotes. Si es rectangular el factor es 2.42, si es circular el factor es 1.79 y si es elipsoidal el factor es 0.76.

V₁: componente de la velocidad del flujo que forma un ángulo α con el eje del río, m/s; correspondiente a un caudal con período de retorno de 01 año.

2.2.9.3. Muros de protección

Son muros laterales, perpendiculares al eje del barrage fijo-fusible; sirven para proteger principalmente al bocal y a la poza disipadora de energía contra los desbordes de avenidas, y la erosión lateral del cauce en ambas márgenes (Huamán, J. 2016a).

-La longitud del muro de protección aguas arriba: Esta longitud se mide desde el eje del barrage fijo-fusible hasta el bocal, más un metro, donde inician las aletas (Huamán, 2016a).

 $L_{U} = D_{b} + L_{b}/2 + 1.0 \dots (34)$

Donde:

Lu: longitud de los muros de protección aguas arriba del eje del barrage, m

D_b: distancia entre el eje del barrage y una paralela a este que pase por el centro del bocal, m

Lb: longitud del bocal, m

- La longitud del muro de protección aguas abajo: Esta longitud se mide desde el pie del talud del barrage fijo-fusible hasta el final del colchón de amortiguamiento, más un metro (Huamán, J. 2016a).

 $L_D = Ld + 1.0$ (35) Donde:

L_D: Longitud de los muros de protección, aguas abajo, m

Ld: Longitud de la poza disipadora, m

-Altura de los muros de protección, aguas arriba del barrage: Está dada por la siguiente expresión (Huamán, J. 2016a).

 $H_U = H_{JS} + p - d'_b \tan \theta + bl_u \qquad (36)$ Donde:

H_U: altura de los muros de protección, aguas arriba del barrage, m.

H_{JS}: carga hidráulica del barrage fijo-fusible, m.

P: altura del barrage, m.

d'b: distancia entre el eje del barrage y el eje del bocal, medido en el eje del río, m.

 θ : ángulo formado por la horizontal y el fondo longitudinal del cauce.

blu: borde libre, m. (0.4 a 0.60 m)

-Altura de los muros de protección, aguas abajo del barrage: Esta altura depende de las características del flujo de la poza disipadora de energía y se calcula con la siguiente expresión (Huamán, J. 2016a).

 $H_D = y_2 + bl$ (37)

Donde:

y2: profundidad de flujo mayor en la poza

 $bl = 0.03048(v_1+y_2)$

 $V_1 = \frac{Q}{y_1 T} \tag{38}$

2.2.10. Diseño de la poza disipadora de energía

2.2.10.1. Poza disipadora de energía con fondo no horizontal

Este diseño es tomado guiándose de la Tesis para grado "Modelo Hidráulico de Poza disipadora de energía con fondo fijo no horizontal para captación de Río de montaña", (Graus, D., Medina, E. 2001).

-Cálculo del tirante y1

Se le denomina tirante conjugado menor " y_1 ", es un tirante de agua al pie del vertedor y se calcula a través del principio de Conservación de Energía entre la sección que se localiza sobre la cresta del barrage y la sección donde se produce el tirante (Herrera, O. 2019).

$$Z + P + H_{C} + \frac{V_{c}^{2}}{2g} = Z_{1} + y_{1} + \frac{V_{1}^{2}}{2g}$$
(39)

$$H_{\rm C} = \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{\rm Q}{\rm T}\right)^2}{\rm g}} \qquad (40)$$

Donde:

 $Z-Z_1=(L)(So)$ (para fondo no horizontal; So, pendiente del fondo y L, distancia entre la sección sobre la cresta del barrage y el tirante y₁

Hc: profundidad crítica

Vc: velocidad crítica

y₁: tirante inicial del salto hidráulico

V1: velocidad media en la sección del salto hidráulico

T: ancho del Río

También se emplea la ecuación de la continuidad:

Q = VA = (V)(y)(T)(41)

-Cálculo del tirante y2

Calculado el valor de y₁ se procede a calcular el número de Froude "F₁" con la siguiente fórmula:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} \tag{42}$$

Para calcular el tirante y_2 en una poza disipadora de energía con fondo inclinado, utilizaremos el siguiente gráfico:





Nota. Fuente: Adaptado de (Chow, V. 1994)

-Longitud de la poza

La longitud de la poza disipadora de energía "Ld" se calcula con la siguiente fórmula:

$$L_d = L_j + 2y_2$$
(43)

Donde:

Lj: longitud de salto, (m)

El cálculo de la longitud de salto "Lj" para la poza disipadora con pendiente, la podemos obtener del siguiente gráfico:

Longitud de saltos en canales con pendiente



Nota. Fuente: Adaptado de (Chow, V. 1994)

-Elevación del piso de la poza o altura de umbral

Se debe calcular un umbral "p" en la salida de la poza para que el tirante de agua de la poza disipadora de energía sea igual al tirante de agua a la salida de la poza (en el cauce) por lo que se calcula con la siguiente fórmula:

 $p = (y_2 - H_c)$ (44)

Para asegurar la disipación de energía se debe considerar un 15% más el valor obtenido de la ecuación (44).

-Separación de bloques

La separación de los bloques de la poza disipadora de energía se indica a continuación:

Separación de bloques de piso



Nota. Fuente: Adaptado de (Chow, V. 1994)

La dimensión de "a" es:

$$\frac{0.40T}{N_b} \le a \le \frac{0.55T}{N_b}$$
(45)

Dónde, Nb es el número de bloques a lo largo de T.

Distribución de bloques y dados (Bloques: 2.2 x 3.0 x 1.5 y Dados de 2.2 x 2 x 2) (Graus, D., Medina, E. 2001)

Figura 14

Distribución de dados y bloques a lo largo de la poza



Nota. Fuente: Adaptado de (Herrera, O. 2019)

Primera fila:

 $\frac{T}{2} = \frac{a}{2} + x_1 + na$ (46)

Número de bloques A: NA=n+1

Segunda fila:

$$\frac{T}{2} = \frac{a}{2} + x_1 + x_2 + na$$
(47)

Número de bloques B: NB=n+2

Tercera fila:

 $\frac{T}{2} = \frac{a}{2} + x_1 + 2x_2 + na \qquad (48)$ Número de bloques C: NC=n+3

2.2.10.2. Disipador de energía Tipo III según la U.S.B.R.

Es un disipador de energía en el que el número de Froude es mayor a 4.5 donde se genera un resalto hidráulico, cuenta con dados, bloques de impacto y umbral de salida continuo permitiendo disminuir la longitud del resalto y disipar la energía del caudal que ingresa a alta velocidad. La velocidad de entrada al disipador no debe exceder los 18 m/s ya que a velocidades mayores existe el riesgo de la destrucción de los bloques (Martínez, E., Batanero, P., Gonzáles, E. 2007).

Figura 15

Dimensiones del cuenco tipo III según la U.S.B.R.



Nota. Fuente: Adaptado de Diseño de Pequeñas Presas (Martínez, E., Batanero, P., Gonzáles, E. 2007)

Longitud del resalto hidráulico



Nota. Fuente: Adaptado de Diseño de Pequeñas Presas (Martínez, E., Batanero, P., Gonzáles, E. 2007)

-Elementos de impacto de la poza disipadora

a) Bloques de rampa o de chute

El número de bloques de rampa se calcula con la siguiente expresión (Huamán, J. 2016a):

$$N_{c} = \frac{W_{B}}{2y_{1}} \qquad (49)$$

Donde:

N_C: número de bloques de rampa

W_B: ancho de la poza

y₁: tirante al inicio de la poza

El ancho del bloque y el espacio entre bloques están determinados por la siguiente expresión:

$$W_1 = W_2 = \frac{W_B}{2N_C}$$
(50)

Donde:

W₁: ancho de bloque

W₂: espaciamiento entre bloque

Las ecuaciones (49) y (50) proporcionarán la cantidad de bloques N_C y espacios entre estos N_C -1. El ancho restante de la poza se divide equitativamente para los espacios entre los bloques exteriores y las paredes laterales de la poza (Huamán, J. 2016a).

b) Bloques deflectores

Figura 17

Bloque deflector de poza tipo III U.S.B.R.



Nota. Fuente: Adaptado de (Huamán, J. 2016a)

La altura de los deflectores se calcula a partir de la siguiente ecuación (Huamán, J. 2016a):

 $h_3 = y_1(0.168 Fr_1 + 0.58)$ (51)

Donde:

h3: altura de los bloques deflectores

y1: tirante al inicio de la poza

Fr1: número de Froude al inicio de la poza

El número de bloques deflectores es el siguiente:

Donde:

NB: número de bloques deflectores (redondeados a un número entero)

El ancho y el espaciado del deflector están determinados por (Huamán, J. 2016a):

 $W_3 = W_4 = \frac{W_B}{2 N_B}$ (53)

Donde:

 $W_3 =$ ancho del deflector, m

 $W_4 = Espaciamiento entre bloque, m$

Las ecuaciones (52) y (53) proporcionarán el número de deflectores N_B y espacios N_B -1 entre esos deflectores. El ancho restante de la poza se divide equitativamente para los espacios entre los deflectores exteriores y las paredes laterales de la poza (Huamán, J. 2016a).

c) Umbral

La altura del umbral (h4) se determina mediante la siguiente fórmula:

 $h_4 = y_1(0.0536 \text{ Fr}_1 + 1.04)$ (54)

El tirante "y1" y el número de Froude "Fr1" han sido definidos anteriormente.

La pendiente delantera del umbral debe establecerse en 0.5: 1 (V: H). Si se siguen estas recomendaciones, se obtendrá un cuenco corto y compacto con una buena acción de disipación (Huamán, J. 2016a).

d) Borde libre de la poza

Se puede estimar con la siguiente expresión:

 $bl = 0.1 (V_1 + y_2)$ (55)

Donde:

bl: borde libre, m

V1: velocidad media al inicio de la poza, m/s

y₂: tirante conjugado mayor de la poza, m

En la loza de la poza disipadora de energía se colocan tubos verticales llamados lloraderos de subpresión, pueden ser de 4 pulgadas de diámetro colocados cada 1.5 m en hileras a lo largo de la poza (Huamán, J. 2016a).

2.2.11. Modelo Hidráulico

Un modelo hidráulico es una representación esquemática a escala de una parte natural donde las obras están proyectadas en ella. Se debe proporcionar al modelo la mayor cantidad de datos de calidad para obtener información valiosa y verdadera. Una de las ventajas del modelo físico es que el flujo es tridimensional, que se vuelve una herramienta de ayuda cuando la teoría es incompleta o inaplicable (Rocha, A. 1998).

El problema de los modelos de investigación es establecer un cierto grado de exactitud que se asemeje a la naturaleza frente a una obra hecha por el hombre. En todo modelo tiene que tener los siguientes aspectos: (a) el fenómeno natural (por ejemplo, un río), (b) la obra proyectada y su influencia sobre el fenómeno natural (por ejemplo, una captación derivadora); y, (c) la extensión espacial y temporal de los efectos producidos por la obra (Rocha, A. 1998).

Los modelos físicos a escala reducida deben ser semejantes al prototipo por lo que debe satisfacer las leyes de similitud geométrica, cinemática y dinámica que en conjunto relacionan las magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos sistemas, el prototipo Ap y el modelo Am (Vergara, M. 1995).

2.2.11.1. Similitud en modelos físicos

-Semejanza geométrica

Para que exista semejanza geométrica entre el prototipo y el modelo las dimensiones correspondientes u homólogas en modelo y prototipo deben ser iguales. Tales relaciones pueden escribirse como (Giles, V., Evett, B., Liu, C. 2003).

-Semejanza cinemática

Para que exista semejanza cinemática debe cumplirse que las trayectorias de las partículas móviles homólogas son geométricamente semejantes y las relaciones entre las velocidades de las partículas homólogas son iguales. A continuación, se dan las siguientes relaciones (Giles, V., Evett, B., Lui, C. 2003).

Velocidad:
$$\frac{V_{\rm m}}{V_{\rm p}} = \frac{L_{\rm m}/T_{\rm m}}{L_{\rm p}/T_{\rm p}} = \frac{L_{\rm m}}{L_{\rm p}} : \frac{T_{\rm m}}{T_{\rm p}} = \frac{L_{\rm r}}{T_{\rm r}}$$
....(58)

Aceleración:
$$\frac{a_{m}}{a_{p}} = \frac{L_{m}/T_{m}^{2}}{L_{p}/T_{p}^{2}} = \frac{L_{m}}{L_{p}} : \frac{T_{m}^{2}}{T_{p}^{2}} = \frac{L_{r}}{T_{r}^{2}}(59)$$

2.2.11.2. Modelos basados en la ley de Froude

Los modelos basados en la ley de Froude afirman que la fuerza que causa el movimiento del fluido es la gravedad y que las fuerzas como la tensión superficial y la fricción del fluido pueden despreciarse (French, R. 1988).

F.	$= F_{r}$																																											(6^{-1})	1	۱
гM	$-r_{\rm P}$	р.	• • •	•••	• • •	• • •	••	•••	••	•••	•••	•••	••	••	••	••	•••	•••	•••	•••	•••	• • •	•••	••	••	••	••	••	••	•••	•••	••	••	• • •	••	••	••	••	••	••	••	•••	•••	τυ.	I)	,

Donde:

F: número de Froude y los subíndices M y P designan los números de Froude del modelo y del prototipo, respectivamente. La ecuación (61) puede resolverse para dar:

Donde

R: subíndice que indica la razón entre la variable del modelo al prototipo.

UR: razón de velocidad

L_R: razón de escala de longitud

g_R: razón de gravedad

Ya que desde un punto de vista práctico no se puede alterar la aceleración de gravedad

$$g_R = 1$$

y la ecuación queda como

Puesto que la velocidad del flujo se puede expresar en términos de distancia y tiempo, entonces:

Dónde T_R : escala de tiempos

También se tiene que:

 $Q_R = L_R^{5/2}$ (65)

 Q_R : escala de caudales

2.2.11.3. Modelos de fondo móvil

Cuando en un modelamiento se requiere el movimiento de materiales como los taludes y el fondo de un canal, de debe emplear un modelo de fondo móvil para estudiar diferentes fenómenos como la morfología general de los ríos, el cambio de pendiente, sedimentación, erosión y cambios en el gasto y arrastre de sedimentos relacionado a estructuras hidráulicas (French, R. 1988).

El flujo en el modelo debe ser turbulento y en lo posible turbulento completamente rugoso con la misma rugosidad relativa que la del prototipo.

Rem> 5000(66)

 $(K_s)_r = L_r$ (67)

donde el número de Reynolds (R_e) se define en términos del diámetro hidráulico (es decir, $Re = \rho V D_H / \mu$, y Ks es la altura de rugosidad.

Tabla 8

Escalas de traslación modelo prototipo y viceversa

PARÁMETRO	SÍMBOLO	ESCALA 1:X
Longitud, Ancho, Altura	L, B, H	Lr = 1/X
Área	А	L_r^2
Volumen	V	L_r^3
Tiempo	Т	$L_{r}^{1/2}$
Velocidad	V	$L_{r}^{1/2}$
Caudal	Q	$L_{r}^{2.5}$
Coeficiente de rugosidad	n	$L_{r}^{1/6}$
Número de Reynolds	Re	$L_{r}^{3/2}$

Nota. Fuente: Adaptado de (Vásquez, L. 2016)

2.2.11.4. Escalamiento de resistencia

En el escalamiento para representar la rugosidad del modelo físico se debe realizar estudios de sedimentos del cauce, para un modelo no distorsionado se emplea la siguiente fórmula para pasar la rugosidad del de prototipo al modelo:

El valor mínimo alcanzable del "n" de Manning es alrededor de 0.009 a 0.010 s m $^{-1/3}$ que es el del vidrio.

La siguiente tabla muestra las diferentes rugosidades para distintos tipos de cauces.

Tabla 9

Valores del coeficiente de rugosidad n

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
B. Canales revestidos o desarmables			
B-1. Metal			
a. Superficie lisa de acero			
1. Sin pintar	0.011	0.012	0.014
2. Pintada	0.012	0.013	0.017
b. Corrugado	0.021	0.025	0.030
B-2. No metal			
a. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
b. Madera			
1. Cepillada, sin tratar	0.010	0.012	0.014
2. Cepillada, creosotada	0.011	0.012	0.015
3. Sin cepillar	0.011	0.013	0.015
4. Láminas con listones	0.012	0.015	0.018
5. Forrada con papel	0.010	0.014	0.017
impermeabilizante			
c. Concreto			
1. Terminado con llana metálica	0.011	0.013	0.015
(palustre)			
2. Terminado con llana de madera	0.013	0.015	0.016
3. Pulido, con gravas en el fondo	0.015	0.017	0.020
4. Sin pulir	0.014	0.017	0.020
5. Lanzado, sección buena	0.016	0.019	0.023
6. Lanzado, sección ondulada	0.018	0.022	0.025
7. Sobre roca bien excavada	0.017	0.020	
8. Sobre roca irregularmente excavada	0.022	0.027	
d. Fondo de concreto terminado con llana de			
madera y con lados de			
1. Piedra labrada, en mortero	0.015	0.017	0.020
2. Piedra sin seleccionar, sobre	0.017	0.020	0.024
mortero			
3. Mampostería de piedra cementada,	0.016	0.020	0.024
recubierta			
4. Mampostería de piedra cementada	0.020	0.025	0.030
5. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.020	0.030	0.035
e. Fondo de gravas de			
1. Concreto encofrado	0.017	0.020	0.025
2. Piedra sin seleccionar, sobre	0.020	0.023	0.026
mortero			

3. Piedra suelta o <i>riprap</i>	0.023	0.033	0.036
f. Ladrillo			
1. Barnizado o lacado	0.011	0.013	0.015
2. En mortero de cemento	0.012	0.015	0.018
g. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0.017	0.025	0.030
2. Piedra suelta	0.023	0.032	0.035
h. Bloques de piedra labrados	0.013	0.015	0.017
i. Asfalto			
1. Liso	0.013	0.013	
2. Rugoso	0.016	0.016	
j. Revestimiento vegetal	0.030		0.500

Nota. Fuente: Adaptado de (Chow, V. 1994)

Tabla 10

Rugosidad de Manning para distintos materiales

Material	Coeficiente de Manning
Asbesto cemento	0.011
Latón	0.011
Tabique	0.015
Fierro fundido (nuevo)	0.012
Concreto (cimbra metálica)	0.011
Concreto (cimbra madera)	0.015
Concreto simple	De 0.013 a 0.017
Cobre	0.011
Acero corrugado	De 0.019 a 0.022
Acero galvanizado	De 0.012 a 0.017
Acero (nuevo pulido esmaltado)	De 0.010 a 0.012
Acero (remachado)	De 0.017 a 0.019
Plomo	0.011
Plástico (PVC	0.009
Madera (duelas)	0.012
Vidrio	De 0.010 a 0.011

Nota. Fuente: Adaptado de Computer Applications in Hydraulic Engineering.

2.2.11.5. Selección de escalas

La selección de escala se determina según el estudio requerido como modelos con distorsión, modelos sin distorsión, modelos de fondo fijo o modelos de fondo móvil. Se

brinda las escalas lineales de modelos hidráulicos dando rangos de escalas lineales para diversos problemas en la siguiente tabla (Vergara, M. 1995).

Tabla 11

Modelos	Escalas lineales	Observaciones
Obras hidráulicas:		
Vertedores, tanques	De 1:20 a 1:70	Modelos sin distorsión y
amortiguadores, rápidos,		de fondo fijo
túneles		
Flujo alrededor de		
estructuras		
	De 1:5 a 1:25	
Flujo en ríos y canales	Ex de 1:250 a 1:1000	Modelos de fondo fijo con
	Ey de 1:50 a 1:100	distorsión. Distorsión
		máxima de 10
Erosión local por corrientes	De 1:20 a 1:60	Modelos de fondo móvil
		sin distorsión
Transporte de sedimentos	Ex de 1:100 a 1:500	Modelos de fondo móvil,
en ríos	Ey de 1:50 a 1:100	con distorsión
		recomendable de 5.

Escalas lineales utilizadas en modelos hidráulicos

Nota. Fuente: Adaptado de (Vergara, M. 1995)

2.2.12. Materiales y construcción del modelo

Un modelador al construir un modelo físico hidráulico debe estar consciente de que el modelo tiene que (French, R. 1988):

-Ser una réplica geométricamente escalada y precisa del prototipo

-Retener su consistencia y precisión geométrica durante su operación

-Contener las estructuras necesarias para controlar y medir el gasto

-No presentar dificultad para hacer cambios fácil y rápidamente en detalle

-Ser consistente con el propósito del estudio y su presupuesto

Los modelos a menudo se construyen con materiales fácilmente disponibles (madera, concreto, metal, cera, parafina, plástico, arena, y carbón). Los equipos de taller requeridos para preparar y modelar estos materiales también deben estar disponibles (French, R. 1988).

En cuanto a la forma y representación del cauce de material móvil se acostumbra hacerlo con escantillones, tarrajas, apoyados sobre placas, plataformas o rieles laterales del cauce, estos deben ser nivelados y tomando como referencia un banco de nivel, se debe realizar seccionamientos en el modelo hidráulico hasta un máximo de 50 cm (Vergara, M. 1995).

Respecto al material móvil del prototipo (granulometría), se recomienda que cuando el material sea prácticamente uniforme (desviación estándar σ <3), se utilice solo escala de diámetro medio (*ED*50). Cuando la granulometría sea extendida (σ >3), se recomienda seccionar y calcular ED50 para cada sección (Vergara, M. 1995).

2.2.13. Calibración y verificación del modelo físico

Una vez construido el modelo hidráulico se debe calibrar y verificar, se debe hacer una determinación que indique si los eventos del prototipo se reproducen precisamente en el modelo. En los modelos numéricos, con frecuencia se logra la relación entre el modelo y el prototipo ajustando los coeficientes empleados en el modelo hasta que se llega a una relación adecuada entre el modelo y el prototipo. En cambio, en un modelo físico, la relación prototipo-modelo se logra ajustando las características físicas, como la rugosidad de fondo, el gasto, y/o los niveles del agua (French, R. 1988).

2.2.14. Eficiencia hidráulica de pozas disipadoras de energía

La eficiencia hidráulica de una poza disipadora de energía se puede medir como la relación entre la energía cinética disipada y la energía cinética total del agua antes de ingresar a la poza (French, R. 1988).

$$E = \frac{E_2}{E_1} * 100$$
(69)

Dónde:

E: Eficiencia hidráulica de la poza disipadora de energía, en %

E1: Energía específica en la sección 1

E2: Energía específica en la sección 2

Las energías específicas de la fórmula (69) se determinan a partir de la pérdida de energía antes y después del resalto hidráulico y se defines como (Chow, V. 1994).

Donde:

- y1, y2: tirantes conjugados menor y mayor respectivamente, (m)
- v1, v2: velocidades de flujo, (m/s)
- g: aceleración de la gravedad, (m/s^2)

2.2.15. Disipación de energía de pequeñas caídas

Las caídas son estructuras empleadas en aquellos puntos donde se requiere salvar dos desniveles bruscos en la rasante del canal, es decir utilizadas para conducir agua desde una parte alta a una parte baja y disipar la energía ocasionada por esta diferencia de niveles. Las caídas pueden ser verticales o inclinadas, las caídas inclinadas se diseñan para canales en los que el desnivel esté dentro del rango de 1.0 m a 4.5 m, si fuera mayor a 4.5 m y se desea conducir el agua a grandes distancias y mantener un flujo supercrítico es necesario diseñar una rápida (Pérez, C. 2016).

La disipación de energía se evalúa en función a la energía específica al inicio de la caída y la energía específica al final de la caída.

Partes de una caída inclinada



Nota. Fuente: Adaptado del Manual de Obras Hidráulicas, (Pérez, C. 2016)

2.2.16. Flujo de mezclas

La teoría del flujo de mezclas entre agua y sedimentos en un río se basa en principios de la hidrodinámica, la sedimentación y la mecánica de fluidos. En el caso de un agua con sedimentos, tanto los materiales cohesivos como los no cohesivos pueden afectar la energía cinética de diferentes maneras (Pérez, G., Rodríguez, J., Molina, J. 2018):

-Materiales cohesivos: Cuando el agua con sedimentos cohesivos fluye en una poza disipadora, estos sedimentos pueden reducir la energía cinética del agua debido a su capacidad para retener el agua. Los agregados de sedimentos cohesivos pueden actuar como obstáculos en el flujo, disipando la energía cinética y reduciendo la velocidad del agua.

-Materiales no cohesivos: Cuando el agua con sedimentos no cohesivos fluye en una poza disipadora, los sedimentos pueden moverse libremente debido a la energía cinética del agua. Sin embargo, a medida que el flujo se desacelera en la poza disipadora, la energía cinética disminuye y los sedimentos no cohesivos más pesados pueden depositarse en el fondo de la poza debido a la gravedad.

El propio movimiento del sedimento puede afectar al desarrollo de la misma capa límite. Partiendo de un hipotético fondo plano, la rugosidad será función únicamente del tamaño del grano (d50), sin embargo, una vez que se ha superado un valor crítico de las tensiones de corte y se inicia el movimiento, se crean ondulaciones en el cauce, que a su vez aumenta la rugosidad del fondo afectando al flujo. Este incremento de rugosidad provocará mayores tensiones de fondo y más disipación de energía dentro de la capa límite (Pérez, G., Rodríguez, J., Molina, J. 2018).

2.3. Definición de términos básicos

Bocatoma: Las bocatomas también llamadas captaciones de derivación son estructuras hidráulicas ubicadas en un río que se encargan de derivar un cierto caudal de agua (caudal de dotación) (Mansen, A. 2015).

Barrage fijo-fusible: Se encuentra perpendicular al flujo a lo largo del ancho del río y cumple la función de elevar el tirante de agua en el cauce y evitar la colmatación frente al bocal. Está compuesto por una parte fija central y en los extremos un enrocado y este falle en una avenida y permita el paso de los sedimentos que transporta el río. Una vez haya descendido el nivel de agua se vuelve a colocar el enrocado de forma manual (Huamán, J. 2016a).

Caudal: También se le llama gasto o flujo volumétrico, es el volumen del fluido que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo, se suele medir en unidades de m^3/s (Cengel, Y., Cimbala, J. 2006).

Caudal dominante: Se define como la descarga de cauce lleno o descarga de un cierto periodo de retorno, o bien la descarga con el "nivel de agua de construcción del lecho" en el que se da el mayor volumen de transporte de sedimentos por año (Novák, P., Moffat, I., Nalluri, C. 2001).

Pendiente del río: Es el desnivel de un segmento de río es la diferencia del extremo inicial y final entre la distancia horizontal de dicho segmento. (Breña, A., Jacobo, M. 2006).

Hidrología: Es la ciencia que se encarga del estudio del agua sobre la tierra en sus diferentes fases, como su desplazamiento y distribución. Su aplicación es muy amplia tales como en el abastecimiento de agua potable, irrigación, generación de energía eléctrica, drenaje, entre otros. (Chow, V., Maidment, D., Mays, L. 1994).

Colmatación: La colmatación también se le conoce como azolvamiento que es el proceso en el cual la corriente fluvial acarrea al material sólido y es depositado dentro de un embalse provocando la pérdida de la vida útil (Rocha, A. 2006).

Rugosidad: Este coeficiente "n" representa la resistencia a la corriente de agua dada el fondo y los lados de un canal. Si este coeficiente es mayor significa que mayor será la rugosidad del canal y el agua tendrá mayor impedimento para deslizarse por el canal (FAO, 2022).

Poza disipadora de energía: También llamado cuenco amortiguador ubicado al pie del aliviadero o barrage y su finalidad es disipar la energía del caudal que vuelve al cauce y evitar la erosión debido a las grandes velocidades del flujo (Martínez, E., Batanero, P., Gonzáles, E. 2007).

Modelo hidráulico: Es una representación esquemática a escala de una parte natural donde las obras están proyectadas en ella. Se debe proporcionar al modelo la mayor cantidad de datos de calidad para obtener información valiosa y verdadera. Una de las ventajas del modelo físico es que el flujo es tridimensional, que se vuelve una herramienta de ayuda cuando la teoría es incompleta o inaplicable (Rocha, A. 1998).

Eficiencia hidráulica de pozas disipadoras de energía: La eficiencia hidráulica de una poza disipadora de energía se mide como la relación entre la energía cinética disipada y la energía cinética total del agua antes de ingresar a la poza (French, R. 1988).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

La presente investigación es desarrollada en la captación derivadora para riego Cristo Rey y está ubicada en la cuenca del Chonta, en el río Chonta, Centro Poblado de Otuzco (frente a las ventanillas de Otuzco) al noreste de la ciudad de Cajamarca. Su ubicación política y geográfica es:

Distrito: Baños del Inca.

Provincia: Cajamarca.

Región: Cajamarca.

Coordenadas UTM - WGS84:

Zona: 17S

Norte: 781121.00 E

Este: 9211526.00 S

Figura 19

Ubicación política de la zona de estudio.


Ubicación satelital de la captación Cristo Rey



3.1.1. Ubicación temporal de la investigación

El presente estudio se realizó desde el mes de abril de 2023 al mes de mayo de 2024, durante este periodo de tiempo se realizó los aforos y la toma de datos de campo para posterior a ello mediante un trabajo de gabinete tratar la información para luego construir el modelo hidráulico y empezar con las pruebas experimentales.

3.2. Materiales, Equipos y Softwares

3.2.1. Materiales

- Libreta de apuntes
- Cordel de nylon
- Estacas de fierro
- Sacos de polipropileno
- Materiales de escritorio
- Materiales para construcción de los tanques del modelo (cemento, arena gruesa, arena fina, ladrillos).

- Materiales para la construcción del modelo hidráulico (planchas de acero galvanizado 3 mm, tubos cuadrados de acero de 7/8x1.2mm)
- Pintura (esmalte para pintar el modelo hidráulico)

3.2.2. Herramientas

- Palana
- Pico
- Barreta de acero
- Wincha metálica de 5.0 m
- Wincha metálica de 30.0 m
- Amoladora
- Máquina de soldar

3.2.3. Instrumentos

- Regla graduada de madera de 1.5 m de largo
- Regla metálica de 1.3 cm de ancho y 1.73 m de largo
- Escuadra de combinación de 30 cm
- Correntómetro PS-2130 PASCO
- Tubo de Pitot
- Juego de tamices granulométricos ASTM422
- Jarra graduada

3.2.4. Equipos

- Estación Total (Leica TS10 plus)
- GPS Navegador
- Balanza digital
- Motobomba de 4"
- Laptop marca Dell
- Cámara fotográfica (Celular)
- Celular (para registro de datos de velocidades de agua en los aforos)

3.2.5. Softwares

- Hec Hms 3.5
- Hec-Ras 6.6
- ArcGIS 10.8

- AutoCAD Civil 3D 2024
- Google Earth Pro
- Microsoft Office 2023

3.3. Metodología

El tipo de investigación es aplicada por ser de naturaleza práctica, porque con ayuda de las investigaciones básicas y evolución de ella se puede aplicar los conocimientos en la presente investigación para poder obtener nuevos resultados y plantear mejoras para luego ser empleados en estructuras semejantes. El diseño de investigación que se utiliza es el experimental porque existe en el estudio una relación causa efecto, debido a que con los caudales obtenidos desde abril de 2023 hasta abril de 2024 se puede determinar la eficiencia de la poza disipadora de energía en condiciones de captación colmatada y en condiciones de captación descolmatada, con ayuda del barrage fusible. El enfoque de la investigación es cuantitativo porque depende de los números para los cálculos y las mediciones.

• Población de Estudio

La población de estudio está representada por las captaciones derivadoras de alta montaña con fines de riego de las cuencas del Mashcón y del Chonta en Cajamarca.

• Muestra

La muestra se ha elegido por conveniencia y está constituida por la captación derivadora Cristo Rey, ubicada en el río Chonta.

• Unidad de Análisis

Es el modelo físico a escala 1/20 de la captación Cristo Rey con barrage fijo-fusible, y de un tramo de 100 m aguas arriba y de un tramo de 47 m del río Chonta, aguas abajo del barrage.

3.4. Procedimiento

Para alcanzar los objetivos del presente estudio se realizó los siguientes procedimientos que se presentan a continuación:

Esquema de los procedimientos de la investigación



3.4.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó mediante una estación total de marca Leica TS10 plus, tres prismas, un GPS navegador, una wincha de 30 metros, cordel, estacas de madera y de metal. El levantamiento topográfico fue realizado por el tesista (operario) con ayuda de egresados de hidráulica (prismeros). En el área de estudio no se contó con un Banco de Marca (BM), por ello mediante estacas de madera se estableció puntos referenciados con la ayuda de un GPS de alta precisión (3 m de margen de error), se referenció al DATUM WGS-84 y enlazados a la Red Geodésica Nacional UTM y posicionado en la Zona 17 Sur de las cuadrículas.

Se realizó el levantamiento topográfico del río Chonta en una longitud de 200 metros aguas arriba de la captación Cristo Rey y 80 metros aguas abajo de la captación antes mencionada. Para la toma de puntos topográficos se seccionó el río cada 10 metros, en cada sección se tomó el punto de pendiente del río, el talweg, el eje, otros puntos del cauce, taludes, bordes y un tramo libre en ambos extremos del río.

Como punto importante se debe mencionar que, al momento de realizar el levantamiento topográfico de estos tramos de río se procedió a ubicar los puntos de muestreo de los sedimentos (calicatas).

Figura 22

Levantamiento topográfico de la zona de estudio



3.4.2. Obtención de datos de campo del prototipo Captación Cristo Rey

La obtención de sus características geométricas de la captación Cristo Rey fue mediante la toma de puntos con estación total (Leica TS10 plus), conjuntamente con la medición directa mediante una wincha metálica de 5 y 30 metros de longitud. También se observó en campo el tipo de material con la que está conformada la captación y a su vez el estado en que se encuentra, esto mediante la toma de fotografías y de manera visual. Para observar el problema de socavación aguas abajo del barrage se utilizó el software Hec-Ras, donde se modeló y se obtuvo el perfil longitudinal del río.

Figura 23

Estructura de la zona de estudio vista desde aguas abajo



Tramo del Río Chonta

La morfología del río Chonta se realiza en un tramo de 200 metros aguas arriba del barrage y 80 metros aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey. Para ello se realiza un levantamiento topográfico del tramo del río con una estación total TS10 plus, teniendo en cuenta el Talweg y el eje longitudinal con el fin de obtener el valor del índice de sinuosidad y mediante la pendiente y conformación de material se clasifica al río según su fisiografía.

3.4.3. Análisis hidrológico

Los datos de precipitación máxima en 24 horas para la presente investigación se obtuvieron de la página del SENAMHI y del ANA, de las estaciones cercanas a la zona de estudio como son Augusto Weberbauer, la Encañada y Granja Porcón con una data histórica de 54 años.

3.4.3.1. Parámetros de la cuenca

La delimitación de la cuenca se realizó mediante imágenes ráster del satélite Alos Palsar del sitio web Alaska Satellite Facility ASF: <u>https://search.asf.alaska.edu/#/</u>. La delimitación de la cuenca se realizó mediante el software ArcGIS 10.8 y como punto de descarga se tomó a la captación Cristo Rey. Una vez procesado se obtuvo el área de la cuenca, el perímetro de la cuenca, la longitud del cauce principal, la pendiente media del cauce, la curva hipsométrica, la altura media de la cuenca, entre otros.

Figura 24

Delimitación de la cuenca del río Chonta mediante ArcGIS



3.4.3.2. Periodo de retorno

El periodo de retorno se determinó utilizando la fórmula 7 y las tablas 1 y 2, en la que es necesario contar con la vida útil y el riesgo de falla admisible de la estructura. Para obtener la vida útil que le queda a la captación Cristo Rey se restó la fecha de construcción que es el año 1983 con el año de la investigación que es el 2024, dando como resultado 41 años. Luego se considera que la vida útil que han considerado para la captación es de 50 años y se le resta los 41 años que cumple de funcionamiento y se obtiene la vida útil faltante que es n = 9 años, el riesgo de falla se consideró el R = 25%, por lo tanto, el periodo de retorno es de T = 30 años.

3.4.3.3. Análisis estadístico de datos hidrológicos

Los datos de precipitación máxima en 24 horas descargados del SENAMHI cuentan con un registro por día, en cambio, los datos descargados del ANA cuentan con dos registros por día en el que se tiene que sumar para tener un solo dato por día. La descarga de datos de ambos sitios web tiene la finalidad de complementar datos faltantes de las estaciones.

• Prueba de datos dudosos

Para verificar si existen datos dudosos se realiza un análisis mediante el método Outliers en el que consiste en verificar si uno o más datos se alejan significativamente de la tendencia de información restante.

• Pruebas de bondad de ajuste

Se usó la prueba de bondad de ajuste mediante el método de Kolmogorov – Smirnov, la cual permite elegir la que mejor se ajuste. Los modelos de distribución utilizados son: La distribución normal, la distribución Log Normal 3 parámetros, la distribución Gumbel, distribución Gamma de 3 parámetros o Pearson tipo III y la distribución Log Pearson tipo III.

• Precipitaciones máximas anuales en 24 horas

Luego de verificar con qué modelo de distribución se ajustan los datos se procede a calcular la precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno. A las precipitaciones máximas de diseño se las corrige con el coeficiente de corrección de 1.13 que es para datos registrados una vez al día según la Organización Meteorológica Mundial.

• Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Como no se cuenta con registros de precipitaciones máximas cada una hora para obtener las intensidades máximas se emplea el método de Dick Peschke fórmula (9) que consiste en hallar precipitaciones de diseño para duraciones menores a 24 horas en base a la precipitación máxima en 24 horas y para cada periodo de retorno.

Luego para calcular las intensidades de diseño para duraciones menores a 24 horas se obtiene con la fórmula (10).

• Hietograma de diseño

Se calculan las intensidades para un periodo de retorno de 30 años para diferentes periodos de tiempo menores a 24 horas.

Figura 25

Hietograma de diseño de la estación Augusto Weberbauer



Hietograma de diseño de la estación Encañada



Figura 27



Hietograma de diseño de la estación Granja Porcón

• Modelamiento Hidrológico de Máximas Avenidas en Hec Hms

Se calculó mediante el hidrograma unitario adimensional SCS, se modeló en el software HEC-HMS simulando lluvia escorrentía. Permite calcular la precipitación efectiva con la fórmula (11) como una precipitación acumulada, cobertura del terreno, uso de suelo y la condición antecedente de la humedad. Luego se calcula el caudal máximo mediante la fórmula (18).

a) Influencia de las estaciones en la cuenca

Se determinó el área de influencia de las estaciones más cercanas a la zona de estudio mediante los polígonos de Thiessen. Las estaciones utilizadas son Augusto Weberbauer, La Encañada y la de Granja Porcón.

La cuenca se dividió en subcuencas con su propio nombre para una mejor identificación como se puede observar a continuación.

Figura 28

Área de influencia en la cuenca de las estaciones Augusto Weberbauer, La Encañada y Granja Porcón



b) Cálculo del tiempo de concentración

En la presente investigación se utilizaron las fórmulas que más se adaptan a la zona de estudio como es la de Kirpich fórmula (5) y la del Soil Conservation Service (SCS) fórmula (6), donde se obtendrá un promedio aritmético entre ambos resultados de cada fórmula.

c) Número de curva SCS

Cobertura vegetal

La cobertura vegetal se obtiene de la página web del Ministerio del Ambiente (MINAM) en formato shapefile para luego procesarlo en el software ArcGis.

Cobertura vegetal de la cuenca



Tipo de suelo

El tipo de suelo se obtiene de la página web del Ministerio del Ambiente (MINAM) en formato shapefile para luego procesarlo en el software ArcGis.

Tipo de suelo de la cuenca



Luego se clasifica el tipo de suelo según el grupo hidrológico mediante la tabla 3, la cual el suelo Regosol éutrico-Andosol mólico y el suelo Regosol éutrico-Cambisol éutrico pertenecen al grupo hidrológico "C".

A continuación, se designa el valor de curva número (CN) según la cobertura vegetal y el grupo hidrológico mediante la tabla 4.

Tabla 12

Nombre	Área (km2)	Lc (km)	Cota mayor	Cota menor	S (m/m)	TcK (min)	CN	Tc CN	Tc final
			(msnm)	(msnm)				(min)	(min)
W130	114.36	25.065	4266	2930	0.053	146.848	78	192.59	169.72
W170	76.93	20.523	4169	2927	0.060	119.892	76	163.43	141.66
W180	54.39	18.237	4201	2927	0.069	103.586	77	134.39	118.99
W210	30.06	10.865	3705	2929	0.071	68.931	77	87.83	78.38
W220	43.12	12.260	3415	2729	0.055	83.100	78	106.08	94.59

Datos obtenidos del ArcGis para cada subcuenca

Con los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Chonta, número de curva, tiempos de concentración, los hietogramas de diseño para un periodo de retorno de 30 años de las estaciones Augusto Weberbauer, la Encañada y Granja Porcón, se realizó el modelamiento hidrológico para determinar el caudal de máximas avenidas.

3.4.4. Sedimentos

Análisis granulométrico Subsuperficial

El muestreo de sedimentos de gravas, arenas y limos se realizará mediante el método volumétrico. Las muestras de sedimentos en el cauce del río se obtuvieron mediante 4 calicatas aguas arriba de la captación Cristo Rey. Para tomar las muestras primero se limpió la superficie hasta un espesor igual al sedimento más grande del lugar. Las dimensiones de las calicatas fueron de 50x50 cm y para estimar la profundidad se empleó el uso de una barreta de fierro la cual se introdujo en el lecho del río mediante golpes hasta donde ofrezca mayor resistencia y esa fue la profundidad. Cada calicata cuenta con sus respectivas coordenadas UTM y su altitud.

Tabla 13

Coordenadas UTM y altitud de los puntos de muestreo de sedimentos (calicatas) del río Chonta

N° de Calicata	Coordenadas UTM y altitud						
-	Este (m)	Norte (m)	Cota (m.s.n.m.)				
Calicata 1	781141.90	9211578.50	2730.810				
Calicata 2	781144.87	9211587.58	2731.552				
Calicata 3	781153.95	9211602.58	2731.642				
Calicata 4	781114.03	9211528.30	2731.592				

El sedimento extraído se lo secó y luego se realizó el análisis en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca para la obtención de la curva granulométrica mediante la norma NTP 339.128 (ASTM 422), donde se utilizó un juego de tamices y una balanza electrónica.

Figura 31 Sedimento extraído del río Chonta



En el anexo 3 se observa el plano topográfico del lecho del río y la ubicación de las calicatas.

Análisis granulométrico Superficial

Las muestras de sedimentos (cantos y guijarros) en el cauce del río se obtuvieron mediante el método por conteo de diferentes puntos del lecho en forma aleatoria. En el muestreo se tomó una cantidad de 100 muestras de la superficie de tamaño mayores a 3 pulgadas, posterior a ello se midió el ancho (b) de cada una de las muestras para luego realizar el análisis correspondiente con el método de estadística matemática y obtener la curva granulométrica.



Muestras de guijarros y cantos del río Chonta con su respectiva numeración

3.4.5. Caudal Caudales de aforos del río Chonta

Los aforos del río se realizaron en dos secciones a una distancia de 150 m aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey donde desvían el caudal captado en épocas de lluvia. Se tomó este tramo puesto que aguas arriba no hay secciones que cumplan los requisitos para una toma adecuada de caudales, el motivo es que han extraído material del lecho los pobladores de la zona dejando depresiones considerables e inaccesibles.

En cada sección se midió directamente las profundidades del agua con una varilla graduada en metros, centímetros y milímetros, haciendo una subdivisión con ayuda de un cordel teniendo en cuenta la tabla 7. La velocidad se ha medido en el eje de cada franja a una profundidad del 60% del tirante de agua.

Las velocidades se obtuvieron al inicio con tubo de Pitot pero como existe bastante turbulencia y dificulta las lecturas se optó por medir mediante un correntómetro. Cuando los caudales aumentaron y no fue accesible ingresar se empleó el método del flotador para medir las velocidades superficiales. Las longitudes de los tramos del río y de las secciones se midieron con wincha metálica de 30 m, y para medir el tiempo de recorrido del flotador se utilizará un cronómetro con precisión al segundo.

Con el tubo de Pitot se registró la altura del menisco con precisión al milímetro y con el correntómetro se registró la velocidad directamente con precisión a las décimas, en metros por segundo.

Como punto importante se tiene en cuenta que a los aforos aguas abajo de la captación se le adiciona el caudal que va por el canal de regadío para tener un caudal real al que llega a la captación Cristo Rey. Los caudales se calcularon con la fórmula (23).

Figura 33

Sección de aforos del río Chonta



Caudal dominante

El caudal dominante se determinó en tres secciones del río Chonta a 140 m aguas abajo de la captación Cristo Rey, estas tres secciones se separan en una distancia de 20 m, de cada sección se determinó su geometría con mediciones en campo y luego en CAD se obtuvo sus respectivas áreas, para determinar la geometría de las secciones primero se observó hasta dónde ha llegado el caudal máximo en una avenida (huella hídrica).

Las pendientes de cada tramo se obtuvieron del levantamiento topográfico con una estación total TS10 plus. Obtenido los valores se calcula el caudal dominante con la fórmula (24).

Sección y huella hídrica del río Chonta vista desde la margen izquierda hacia la margen derecha del río



Secciones del río Chonta para el caudal dominante



3.4.6. Diseño de captación derivadora de alta montaña con barrage fijo-fusible

Se realizó el nuevo diseño de la captación derivadora Cristo Rey en las condiciones actuales, por ello conlleva a una variación del diseño puesto que dicha estructura ha influido en la pendiente del río aguas abajo de la captación a lo largo de los años.

Entre las partes del diseño de la captación se encuentra el barrage fijo-fusible, donde se determinó la altura del barrage con la fórmula (26). El ancho mínimo del barrage fijo es 0.40 m como mínimo, el ancho y longitud del barrage fusible se halla mediante las fórmulas (28) y (29) respectivamente. Adicional a ello se diseñó el bocal y los muros de protección.

3.4.7. Diseño de la poza disipadora de energía

Se diseñó 2 tipos de pozas disipadoras de energía la primera es de fondo no horizontal tomado de la tesis "Modelo Hidráulico de Poza disipadora de energía con fondo fijo no horizontal para captación de Río de montaña" (Graus, D., Medina, E. 2001), y la segunda es de tipo III de la U.S.B.R.

Poza disipadora de energía con fondo no horizontal

Esta poza disipadora de energía es empleada para captaciones de alta montaña, cuenta con una distribución uniforme de bloques y dados a lo largo del ancho, cuenta con una pendiente igual al del río. El cálculo del tirante conjugado menor " y_1 " se determina mediante la fórmula (39), el tirante conjugado mayor " y_2 " se determina con la fórmula (42) y la figura 11.

La longitud de la poza disipadora se determina mediante la fórmula (43) y figura 12. La altura del umbral se halla con la expresión (44) y la distribución de los dados y bloques es a lo largo de la poza como indica la figura 14.

Disipador de energía Tipo III según la U.S.B.R.

Este disipador de energía es elegido porque cumple los parámetros establecidos como número de Froude y velocidad de entrada, es de fondo no horizontal y cuenta con bloques de impacto y un umbral de salida como se aprecia en la figura 15.

3.4.8. Modelamiento Hidráulico

3.4.8.1. Materiales y Construcción del Modelo Hidráulico

Los materiales para el modelo se eligieron respecto al coeficiente de rugosidad calculado mediante la fórmula (22) para el prototipo y para pasarlo a escala del modelo mediante la

fórmula (68), en la que resulta que para el cauce (concreto no pulido) y para la estructura (acero liso pintado). La construcción del modelo se realizó en la vivienda del tesista teniendo en cuenta las leyes de similitud con una escala de 1/20.

Figura 36

Construcción de la estructura (captación Cristo Rey) con metal liso



Figura 37 *Taludes del cauce de concreto no pulido*



Como punto importante al momento de la construcción del modelo es que cumpla la pendiente del río y todas las medidas geométricas de manera exacta, es por ello que en cada una de los soportes del modelo está con puntos de nivel, ya que el piso de la vivienda no es completamente horizontal.

Puntos de nivel con mortero para cada uno de los soportes del modelo hidráulico



La base y los lados del modelo hidráulico se ha construido de acero liso galvanizado con el fin de elevarlo y poder hacer la recirculación del agua durante el modelamiento a través de tanques al inicio y al final del modelo e impulsado con una motobomba de 4 pulgadas de diámetro.

Figura 39

Vista superior del modelo hidráulico y sus partes



En cuanto al sedimento se realizó un escalamiento tanto de arenas y gravas como de cantos y guijarros utilizando el mismo material de río según la escala correspondiente al del modelo. Para la colocación del sedimento y control durante el modelamiento se dividió en secciones cada 50 cm y a su vez se colocó puntos de control desde la base del cauce hasta la superficie colmatada.

Figura 40

Seccionamiento y puntos de control en el modelo hidráulico



Figura 41

Puntos de control e inicio de colocación del sedimento en el modelo hidráulico



3.4.8.2. Calibración del modelo

Una vez instalado el modelo hidráulico se realizó la calibración mediante los caudales aforados y los tirantes de agua medidos sobre el barrage de la captación Cristo Rey, previamente llevados a escala 1/20. Para saber si está ingresando el caudal requerido al modelo se contó con un tanque de concreto de 300 litros al final del modelo para el aforo y dos llaves de paso de 4 pulgadas para regular el paso de agua. Luego con una regla graduada de metal se procedió a medir los tirantes de agua sobre el barrage del modelo (en la margen izquierda, derecha y central) y verificar si coincide con los tirantes del prototipo pasados a escala.

Figura 42

Medición de tirantes de agua sobre el barrage de la captación Cristo Rey para la calibración del modelo



Tabla 14

Caudales y tirantes del prototipo para la calibración

N°	Caudal	Tirantes sobre el barrage							
	(m3/s)	Izquierdo (m)	Centro (m)	Derecho (m)					
1	2.366	0.140	0.121	0.178					
2	2.222	0.139	0.120	0.177					
3	4.521	0.225	0.206	0.265					
4	12.970	0.340	0.321	0.378					
5	2.664	0.185	0.166	0.223					
6	3.846	0.210	0.191	0.248					
7	13.054	0.345	0.306	0.363					

Tabla 15

N°	Caudal	Tirantes sobre el barrage							
	(m3/s)	Izquierdo (m)	Centro (m)	Derecho (m)					
1	0.001322	0.0070	0.0061	0.0089					
2	0.001242	0.0070	0.0060	0.0089					
3	0.002527	0.0113	0.0103	0.0133					
4	0.007251	0.0170	0.0161	0.0189					
5	0.001489	0.0093	0.0083	0.0112					
6	0.002150	0.0105	0.0096	0.0124					
7	0.007298	0.0173	0.0153	0.0182					

Caudales y tirantes del modelo para la calibración

Figura 43

Medición de los tirantes de agua sobre el barrage del modelo durante la calibración



Se verificó que los tirantes del prototipo pasados a escala 1/20 y los tirantes del modelo son iguales, esto quiere decir que está en las óptimas condiciones para realizar el modelamiento de las pozas disipadoras de energía para obtener su eficiencia hidráulica.

Vista superior del modelo hidráulico calibrado



3.4.8.3. Ensayos en el modelo

Los caudales escogidos para los ensayos son los que se han obtenido en los aforos que varían desde 1.676 m³/s hasta 15.527 m³/s, estos caudales han sido medidos desde el mes de octubre de 2023 hasta abril de 2024, además, se modelaron caudales hasta llegar al caudal de máximas avenidas que se obtuvo mediante el cálculo del caudal dominante y es de 64.30 m³/s. La duración de cada caudal se estimó mediante el tiempo que tardó en descender o ascender el caudal en el río después de una lluvia mediante la visualización y control del tiempo. Los caudales y tiempos del prototipo se pasan a escala 1/20 con las fórmulas 65 y 64 respectivamente.

a) Ensayo en condiciones de captación colmatada con barrage fijo

En este ensayo se hicieron circular diferentes caudales donde la captación se encontró colmatada con sedimentos extraídos del lecho del río Chonta y escalados 1/20.

Para determinar la eficiencia hidráulica de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal y la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R., se midieron los tirantes conjugados al inicio y al final de las pozas; en la parte izquierda, central y derecha.

b) Ensayo en condiciones de captación descolmatada con barrage fijo-fusible

Se hicieron circular los mismos caudales del ensayo anterior en donde los barrages fusibles tienden a fallar causando la descolmatación. Para determinar la eficiencia de las pozas disipadoras de energía se realizó el mismo procedimiento anterior.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Levantamiento topográfico

En el anexo 3 se observa el levantamiento topográfico del río Chonta en una longitud de 200 metros aguas arriba de la captación Cristo Rey y 80 metros aguas abajo de la captación antes mencionada.

Las curvas de nivel están cada 25 cm, y en la parte aguas arriba de la captación varían entre 2729.25 y 2732.50 y aguas abajo oscilan entre 2724.75 y 2726.25 m.s.n.m.

4.2. Captación Cristo Rey

La captación Cristo Rey está ubicada en el río Chonta con coordenadas UTM 781121.00 Este y 9211526.00 Norte en la zona 17 sur y a una altitud de 2725 m.s.n.m. Destinada para derivar agua para riego y es operada por la "Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Menor Clase B del río Chonta". Las partes de esta estructura son:

a) Un barrage fijo tipo vertedero de concreto ciclópeo de 0.95 m de altura, 30.50 m de longitud y 0.90 m de ancho, a lo largo de la corona está distribuido 6 rieles para que en época de estiaje los usuarios coloquen tablas o piedras para elevar el tirante de agua. Este barrage se encuentra colmatado con sedimentos hasta la corona en toda su longitud.

b) Una bocal o ventana de captación de 1.50 m de largo por 0.55 m de alto aproximadamente hasta el nivel de la corona del barrage, está descubierta en la parte superior y no cuenta con rejilla. Se ubica en la margen derecha del río Chonta y está parcialmente cubierta con sedimentos del río.

c) Un antecanal rectangular con pendiente 0.0025 m/m, se encuentra deteriorado en la parte derecha y la pared lateral es de tierra natural hasta una longitud de 8 m, está cubierto una cierta altura con sedimentos del río.



Vista del bocal, antecanal y barrage de la captación Cristo Rey

d) Un muro de protección o muro de encauzamiento de concreto armado aguas arriba y aguas abajo del barrage ubicado en la margen izquierda de la captación, tiene una longitud de 33.60 m, 2.20 m de alto y 0.30 m de ancho. Está desgastado por la antigüedad que tiene, este muro no tiene contacto con el agua del río, debido a que con el paso del tiempo se ha ido colmatando a ese lado del muro y socavando al otro extremo y destruyendo el muro de protección donde está el bocal por lo que ya no existe.

e) Una aleta de concreto armado en el muro de protección aguas abajo con una longitud de 1.90 m y un ancho de 0.30 m con un ángulo de 142° respecto al muro de protección.

 f) Una poza disipadora de energía de concreto, con un ancho de 18.60 m y una longitud de 4.50 m aproximado ya que se encuentra destruida.

Vista desde al pie de la Captación Cristo Rey



Mediante la topografía y el software Hec-Ras se verificó el problema de socavación que existe aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey por lo que se realizó el estudio para determinar la eficiencia de dos pozas disipadoras y proponer la más eficiente para ser empleada.

Figura 47

Perfil del río en el que se observa la socavación aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey



El caudal máximo empleado en el modelamiento es de 64.30 m³/s con una rugosidad del río de 0.030. La línea punteada de color verde EG es la cota a la que se sitúa la línea de energía, la línea azul WS es la cota de la lámina de agua y la línea punteada de color rojo es del tirante crítico. A continuación, se presenta la siguiente tabla con los datos obtenidos del modelamiento para cada sección.

Tabla 16

Datos obtenio	dos del mode	elamien	to con	Hec-	Ras	

	HE	C-RAS P	lan: Mode	elamiento	5 River:	alineami	ento5 Re	ach: alin	eamiento:	5 Profile	: TR=30 AÑOS
River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
185.51	TR=30 AÑOS	64.30	2730.53	2732.46	2732.12	2732.84	0.004550	2.75	23.39	15.88	0.72
180	TR=30 AÑOS	64.30	2730.57	2732.33		2732.81	0.006231	3.05	21.08	15.67	0.84
170	TR=30 AÑOS	64.30	2730.57	2732.29		2732.74	0.005821	2.97	21.65	16.17	0.82
160	TR=30 AÑOS	64.30	2730.51	2732.33		2732.65	0.003784	2.52	25.54	17.69	0.67
150	TR=30 AÑOS	64.30	2730.15	2732.34		2732.60	0.002903	2.28	28.46	23.29	0.59
140	TR=30 AÑOS	64.30	2730.13	2732.34		2732.56	0.002550	2.07	32.14	30.65	0.55
130	TR=30 AÑOS	64.30	2730.13	2732.30		2732.53	0.002850	2.14	30.50	30.53	0.58
120	TR=30 AÑOS	64.30	2729.92	2732.25		2732.50	0.003017	2.20	29.26	21.20	0.60
110	TR=30 AÑOS	64.30	2730.04	2732.27		2732.46	0.001930	1.89	34.01	22.08	0.49
100	TR=30 AÑOS	64.30	2729.70	2732.25		2732.44	0.001946	1.95	34.87	28.83	0.48
90	TR=30 AÑOS	64.30	2729.26	2732.20		2732.41	0.001866	2.09	33.45	35.82	0.47
80	TR=30 AÑOS	64.30	2729.77	2732.15		2732.39	0.002492	2.23	31.34	33.21	0.53
70	TR=30 AÑOS	64.30	2730.21	2731.86	2731.70	2732.33	0.006248	3.03	21.89	28.47	0.84
60	TR=30 AÑOS	64.30	2730.32	2731.89	2731.89	2732.23	0.005833	2.68	27.46	40.00	0.80
50	TR=30 AÑOS	64.30	2728.87	2729.20	2729.65	2731.82	0.261007	7.07	8.97	32.84	4.36
40	TR=30 AÑOS	64.30	2725.75	2727.68	2726.75	2727.75	0.000651	1.16	56.36	36.11	0.29
30	TR=30 AÑOS	64.30	2725.22	2727.08	2727.08	2727.68	0.008961	3.43	18.74	15.68	1.00
20	TR=30 AÑOS	64.30	2724.76	2727.13	2726.63	2727.42	0.003228	2.38	27.07	18.08	0.62
10	TR=30 AÑOS	64.30	2725.16	2727.07		2727.38	0.003570	2.48	25.88	17.32	0.65
0	TR=30 AÑOS	64.30	2725.13	2726.72	2726.72	2727.30	0.009216	3.37	19.10	16.78	1.01

Con la figura 47 y la tabla 16 se determina el problema de socavación que tiene aguas abajo del barrage la captación Cristo Rey, este problema se ha venido dando a lo largo de los años en cuanto ha empezado a fallar la poza disipadora. En la actualidad mediante el modelamiento en Hec-Ras para un caudal máximo se determina una velocidad de agua pasando el barrage de 7.07 m/s, con esta velocidad elevada y con las diferentes velocidades de los diferentes caudales que pasan por la captación es la que genera la socavación a través del tiempo, pudiendo determinar un desnivel entre el cauce aguas arriba y aguas abajo de 4.10m.

4.3. Tramo de estudio del río Chonta

Se estudió un tramo de 200 m aguas arriba y 80 m aguas abajo de la captación Cristo Rey. Mediante la topografía se procedió a calcular la sinuosidad del río mediante la fórmula (2), donde S o K es igual a la longitud del talweg (ABC) entre la longitud del valle (AC). S o K = 306.38 / 215.37 = 1.42 obteniendo una sinuosidad moderada debido a que se encuentra entre 1.3 < S < 2 según la clasificación.

En el tramo de estudio pasando la curva del río a 100 metros del barrage se observa la presencia de guijarros, cantos rodados, grava y arena, y con un índice de sinuosidad de 1.42 se clasifica como un río de alta montaña. En la margen izquierda (parte convexa) donde inicia la curva del río mediante sondeos se verificó que existe la presencia de arena, limos, y arcillas hasta una profundidad de 2 m y en la margen derecha (parte cóncava) está erosionado hasta una profundidad de 3.50 m. La colmatación empieza desde la curva del río con una longitud de 100 m hasta el barrage en la que se encontró en la calicata realizada a un metro del barrage la presencia de arcillas, limos, arenas, gravas, y poco de cantos y guijarros. Se estima una pendiente longitudinal del río antes de la colmatación de 0.31% y un volumen colmatado de 1950.35 m³.

La forma de la sección del cauce aguas arriba del barrage es aproximadamente trapezoidal con un ancho que varía de 13.98 m hasta 23.21 m y una profundidad aproximada entre 1.40 m y 3.50 m, las márgenes del río están estabilizadas con vegetación y con un enrocado en la parte cóncava de la curva del río.

La forma de la sección del río aguas abajo en la margen derecha es vertical y en la margen izquierda es inclinada. El ancho del río varía desde 39.70 m medido al pie de la captación hasta 16.29 m. El río Chonta aguas abajo de la captación Cristo Rey tiene una pendiente aproximada de 1.82 %.

Se obtuvo un desnivel entre el cauce aguas arriba del barrage y el cauce después de la estructura de 4.10 m. La variación de la pendiente del río se debe a la presencia de la estructura y a los caudales variables durante el transcurso del tiempo.



Perfil longitudinal del eje del río Chonta y la captación Cristo Rey

4.4. Hidrología y obtención del caudal de diseño

a) Parámetros de la cuenca

Los parámetros de la cuenca se obtuvieron mediante el software ArcGis y se procesaron con la ayuda del programa Excel, estos parámetros son necesarios para el diseño hidrológico para obtener el caudal de diseño.

Tabla 17

Parámetros de la cuenca de estudio

Parámetro	Unidad	Valor
Área de la cuenca	km ²	318.86
Perímetro	km	121.18
Longitud del cauce principal	km	35.87
Pendiente media del cauce principal	%	6.22
Pendiente media de la cuenca	%	28.23
Altura media de la cuenca	m	3565.97
Tiempo de concentración	min	120.67
Valor de curva número promedio (CN)	unid.	77.20

b) Análisis hidrológico

Los datos de precipitación máxima en 24 horas para la presente investigación se obtuvieron de la página del SENAMHI y del ANA, de las estaciones cercanas a la zona de estudio como son Augusto Weberbauer, la Encañada y Granja Porcón desde el año 1969 al 2023.

Mediante el programa Excel se realizó la prueba de datos dudosos, la prueba de bondad de ajuste mediante el método de Kolmogorov-Smironv, luego se graficó las curvas IDF y finalmente se obtuvo los hietogramas de precipitación como se muestra en las figuras (25), (26) y (27) de las tres estaciones.

Figura 49





Curvas IDF de la estación Granja Porcón



Figura 51

Curvas IDF de la estación Encañada


c) Obtención del caudal de diseño

El caudal de máximas avenidas se calculó mediante el hidrograma unitario adimensional SCS y se modeló en el software HEC-HMS simulando lluvia escorrentía. Se calculó la precipitación efectiva con la fórmula (11) como una precipitación acumulada, cobertura del terreno, uso de suelo y la condición antecedente de la humedad. Luego se calcula el caudal máximo mediante la fórmula (18).

Figura 52



Hidrograma del caudal de máximas avenidas para un Tr = 30 años

Las líneas punteadas representan el aporte de caudal de las subcuencas al punto de descarga mientras que la línea continua representa el caudal total de máximas avenidas para un periodo de retorno de 30 años. Se obtuvo un caudal de $211.60 \text{ m}^3/\text{s}$.

d) Obtención del caudal dominante

El caudal dominante se determinó en tres secciones del río Chonta a 140 m aguas abajo de la captación Cristo Rey, estas tres secciones se separan en una distancia de 20 m. Las áreas de las secciones y demás datos se obtuvieron con el software Autocad Civil 3D y con el programa Excel:

El área de la sección 1 es 23.50 m², de la sección 2 es 21.71 m² y de la sección 3 es 22.68 m². Mediante el levantamiento topográfico se obtuvo las pendientes, de la sección 1 es 0.0076 m/m, de la sección 2 es 0.0080 m/m y de la sección 3 es 0.0077 m/m. La rugosidad del cauce se obtuvo mediante estudios superficiales y subsuperficiales del material y es 0.030 s/m^{1/3}.

El perímetro mojado de la sección 1 es 21.71 m, de la sección 2 es 18.46 m y de la sección 3 es 19.95 m. Luego se obtuvieron los radios hidráulicos de las secciones 1, 2 y 3 que son 1.08 m, 1.18 m y 1.14 m respectivamente. Finalmente, mediante la fórmula (24) se obtuvo el caudal dominante promedio de $64.30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Comparando el caudal dominante con el caudal obtenido para un periodo de retorno de 30 años se observa que el caudal dominante es 3.29 veces menor, en la que se concluye que el caudal más recurrente que pasa por la zona de estudio, el que interactúa con la estructura y el que da lugar a la formación del cauce a través del tiempo es 64.30 m³/s, es por ello que se lo utilizó en el diseño de las pozas disipadoras de energía para el modelamiento.

4.5. Caudales de aforo del río Chonta

Los aforos del río Chonta se realizaron en dos secciones a una distancia de 150 m y a 164 m aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey, se tomó este tramo puesto que aguas arriba no hay secciones que cumplan los requisitos para una toma adecuada de caudales. Los aforos se realizaron desde el mes de abril de 2023 hasta abril de 2024 y se calcularon con la fórmula (23), las velocidades se obtuvieron al inicio con tubo de Pitot y luego de dos mediciones se usó el correntómetro y cuando no fue accesible ingresar al río se empleó el método del flotador. A estos caudales se le adiciona el caudal que ingresa por el bocal para obtener un caudal real que llega a la captación.

Tabla 18

Aforo	Fecha de	Tiempo	Tiempo (días) ac.	Caudal (m3/s)
(N °)	aforo	(días)		
1	16/04/2023	0	0	5.807
2	26/04/2023	10	10	7.545
3	06/05/2023	10	20	2.366

Caudales del río chonta a 150 m aguas abajo de la captación Cristo Rey

4	11/05/2023	5	25	2.861
5	23/05/2023	12	37	1.412
6	25/05/2023	2	39	2.815
7	31/05/2023	6	45	2.378
8	07/06/2023	7	52	1.425
9	13/06/2023	6	58	1.364
10	20/06/2023	7	65	0.797
11	27/06/2023	7	72	0.527
12	04/07/2023	7	79	0.551
13	17/07/2023	13	92	0.537
14	25/07/2023	7	99	0.492
15	30/07/2023	5	104	0.433
16	07/08/2023	8	112	0.460
17	13/08/2023	6	118	0.342
18	20/08/2023	7	125	0.340
19	26/08/2023	6	131	0.296
20	02/09/2023	7	138	0.275
21	09/09/2023	7	145	0.274
22	16/09/2023	7	152	0.436
23	23/09/2023	7	159	0.214
24	30/09/2023	7	166	0.376
25	07/10/2023	7	173	0.612
26	10/10/2023	3	176	1.676
27	21/11/2023	42	218	2.688
28	06/12/2023	15	233	2.222
29	19/12/2023	10	243	4.521
30	29/12/2023	10	253	12.970
31	11/01/2024	13	266	15.527
32	30/01/2024	19	285	2.664
33	02/03/2024	32	317	3.846
34	04/04/2024	33	350	13.054

Gráfico de los caudales de aforo del río Chonta



En la tabla 18 se observa los caudales durante un periodo de tiempo aproximado de un año, estos caudales son variables. El caudal menor ($0.214 \text{ m}^3/\text{s}$) ocurrió en el mes de septiembre y el mayor caudal ($15.53 \text{ m}^3/\text{s}$) en el mes de enero.

4.6. Sedimentos del río Chonta

a) Análisis granulométrico subsuperficial

Se realizaron cuatro calicatas en diferentes lugares del cauce aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey como se observa en el anexo 3, la primera a 50.00 m del barrage, la segunda a 60.00 m, la tercera a 74.00 m y la cuarta calicata a una distancia de 1.00 m del barrage.

En la primera calicata a una profundidad de sondeo de 2.00 m se encontró limos y arenas. La segunda calicata a una profundidad de 1.08 m se encontró limos, arenas y gravas, en la tercera calicata a una profundidad de 0.70 m se encontró limos, arenas, gravas y guijarros. Por último, en la cuarta calicata el tipo de sedimento que se encontró a una profundidad de 0.95 m fueron arenas, gravas, guijarros y cantos.

Tabla 19

Tamizado de los sedimentos del río Chonta, aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey

				Peso	
	Abertura	Peso	Peso retenido	retenido	Peso que
Tamiz	(mm)	retenido	(%)	acumulado	pasa (%)
		(g)		(%)	
3"	75.00	0	0.000	0.000	100.00
2 1/2	62.50	485	8.083	8.083	91.92
2"	50.00	604	10.067	18.150	81.85
1 1/2"	37.50	266	4.433	22.583	77.42
1"	25.00	786	13.100	35.683	64.32
3/4"	19.05	154	2.567	38.250	61.75
1/2"	12.70	480	8.000	46.250	53.75
3/8"	9.53	202	3.367	49.617	50.38
1/4"	6.35	332	5.533	55.150	44.85
N°4	4.75	107	1.783	56.933	43.07

N°10	2.00	421	7.017	63.950	36.05	
N°20	0.85	354	5.900	69.850	30.15	
N°30	0.59	268	4.467	74.317	25.68	
N°40	0.43	363	6.050	80.367	19.63	
N°60	0.25	636	10.600	90.967	9.03	
N°100	0.15	328	5.467	96.433	3.57	
N°200	0.08	131	2.183	98.617	1.38	
Cazoleta		83	1.383	100.000	0.00	
Total		6000				

Curva granulométrica de arenas y gravas del río Chonta aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey



En la tabla 20 se observa los diámetros efectivos para arenas y gravas que se calcularon mediante la fórmula (21).

Tipo de diámetro efectivo	Tamaño (mm)
d10	0.274
d30	0.842
d50	9.321
d60	17.734
d90	60.229
dm	18.043

Diámetros efectivos de arenas y gravas del río Chonta aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey

b) Análisis granulométrico superficial

Se realizó el muestreo del material superficial del río Chonta, en la que se obtuvo 100 muestras de forma aleatoria de tamaño mayor a 2 pulgadas.

Tabla 21

Muestras de guijarros y cantos del río Chonta aguas arriba de la captación Cristo Rey

N°	Tamaño	N°	Tamaño	N°	Tamaño	N°	Tamaño
	(pulg.)		(pulg.)		(pulg.)		(pulg.)
1	5.55	26	3.35	51	4.41	76	2.56
2	6.85	27	3.39	52	7.99	77	6.38
3	3.78	28	2.24	53	2.13	78	9.17
4	2.60	29	3.15	54	5.28	79	11.93
5	3.54	30	2.01	55	7.24	80	11.14
6	3.11	31	3.39	56	5.04	81	9.88
7	2.56	32	2.80	57	4.84	82	9.88
8	2.83	33	3.54	58	3.78	83	8.15
9	2.52	34	5.35	59	2.24	84	4.88
10	2.44	35	3.62	60	2.76	85	5.83
11	4.88	36	3.35	61	9.25	86	7.32
12	4.84	37	2.44	62	8.66	87	7.83
13	4.13	38	3.66	63	8.23	88	6.93

14	5.00	39	3.70	64	7.17	89	6.54
15	5.55	40	2.56	65	7.56	90	10.39
16	3.54	41	2.44	66	7.28	91	8.54
17	5.28	42	2.13	67	7.13	92	11.85
18	3.46	43	2.44	68	2.68	93	10.47
19	7.36	44	3.90	69	6.02	94	12.99
20	2.91	45	3.74	70	2.83	95	12.13
21	2.76	46	4.49	71	2.99	96	16.10
22	2.56	47	4.49	72	5.71	97	12.80
23	5.47	48	3.90	73	3.86	98	12.56
24	3.15	49	4.57	74	8.90	99	14.37
25	3.62	50	3.58	75	4.65	100	8.27

En la tabla 21 se observa que los guijarros y cantos se encuentran distribuidos entre 2.01 y 16.10 pulgadas. En la tabla 22 se muestra que las partículas que más predominan están entre 2 (50.80 mm) y 4 (101.60 mm) pulgadas. Con los resultados de esta tabla se obtuvo la curva granulométrica de la figura 55.

Diámatas		Factor de	Conteo	Conteo		Porcentaje	
Diâmetro		ponderación	para	x D ³	Porcentaje	que	
	M	edia	-				
Fracción	Geor	nétrica	D^3	cada	(10^{6})		pasa
(Pulg)	(mm)	(pulg)	(mm^3) (10 ³)	fracción			
16 a 18	431	16.97	80092.137	1	80.092	12.6	100.0
14 a 16	380	14.97	54938.042	1	54.938	8.7	87.4
12 a 14	329	12.96	35683.305	4	142.733	22.5	78.7
10 a 12	278	10.95	21541.355	5	107.707	17.0	56.2
8 a 10	227	8.94	11725.628	10	117.256	18.5	39.2
6 a 8	176	6.93	5449.580	14	76.294	12.0	20.7
4 a 6	124	4.90	1926.717	20	38.534	6.1	8.7
2 a 4	72	2.83	370.797	45	16.686	2.6	2.6
	r -	Fotal =		100	634.241	100.0	

Conteo de guijarros y cantos del río Chonta para el análisis granulométrico

Figura 55

Curva granulométrica de los guijarros y cantos del río Chonta, aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey



En la tabla 23 se observa los diámetros efectivos para guijarros y cantos que se calcularon mediante la fórmula (21).

Tabla 23

Diámetros efectivos de los guijarros y cantos del río Chonta aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey

Tipo de diámetro efectivo	Tamaño (mm)
d10	132.66
d30	205.65
d50	261.64
d60	288.13
d90	391.33
dm	252.26

Los sedimentos depositados sobre el barrage de la captación Cristo Rey en el río Chonta están constituidos por limos, arenas, gravas, guijarros y cantos con una distribución granulométrica no uniforme según el cálculo del coeficiente de uniformidad mediante la fórmula (20).

4.7. Datos del prototipo diseñado

El prototipo para el modelamiento hidráulico está conformado por la captación Cristo Rey, un tramo de río de 140.00 m de longitud aguas arriba del barrage, un tramo de 47.00 m de longitud aguas abajo de la captación, una poza disipadora de energía con fondo no horizontal y una poza disipadora tipo III de la U.S.B.R.

Tabla 24

Datos	Unidad	Medida
Longitud del tramo del río aguas arriba del barrage	m	140.00
Longitud del tramo del río aguas abajo del barrage	m	47.00
Pendiente del río sin colmatación aguas arriba del barrage	m/m	0.0031
Pendiente de río aguas abajo del barrage	m/m	0.0182
Ancho del río donde va el barrage	m	28.80
Pendiente del antecanal	m/m	0.0025

Datos del prototipo diseñado para el modelo físico a escala 1/20

Caudal menor	m ³ /s	1.68
Caudal mayor	m ³ /s	64.30
d ₁₀ de guijarros y cantos	m	0.1327
d ₃₀ de guijarros y cantos	m	0.2056
d ₆₀ de guijarros y cantos	m	0.2881
d ₉₀ de guijarros y cantos	m	0.3913
d ₁₀ de arenas y gravas	m	0.000274
d ₃₀ de arenas y gravas	m	0.000842
d ₆₀ de arenas y gravas	m	0.017734
d ₉₀ de arenas y gravas	m	0.060229
Cu para arenas y gravas	Sin unidad	64.82
Cu para cantos y guijarros	Sin unidad	2.17
Longitud del bocal	m	1.50
Altura del bocal	m	0.54
Altura del barrage fijo-fusible	m	0.85
Longitud del barrage fijo	m	23.00
Longitud del barrage fusible	m	2.90
Ancho de corona del barrage fijo	m	0.40
Ancho de corona del barrage fusible	m	0.78
Talud aguas arriba del barrage fijo (H:V)	Sin unidad	1:1
Talud aguas abajo del barrage fijo (H:V)	Sin unidad	2:1
Talud aguas arriba del barrage fusible (H:V)	Sin unidad	1:1
Talud aguas abajo del barrage fusible (H:V)	Sin unidad	1.8:1
Longitud de muros de protección, aguas arriba (derecho e	m	4.12
izquierdo)		
Altura de muros de protección, aguas arriba (derecho e	m	2.00
izquierdo)		

Datos	Unidad	Medida
Ancho de la poza disipadora de energía	m	28.80
Longitud de la poza disipadora de energía	m	18.30
Longitud de muros de protección, aguas abajo (derecho e	m	19.30
izquierdo)		
Altura de muros de protección, aguas abajo (derecho e	m	2.80
izquierdo)		
Borde libre de los muros de protección de la poza	m	0.40
disipadora		
Pendiente longitudinal del fondo de la poza disipadora	m/m	0.02
Altura del umbral	m	1.78
Número de bloques de impacto de la poza disipadora	Unid.	26.00
Ancho, alto y largo de los bloques de impacto	m	0.55x0.40x0.80
Separación entre bloques de impacto	m	0.55
Número de dados primera fila de la poza disipadora	Unid.	27.00
Ancho, alto y largo de los dados de la primera fila	m	0.55x0.55x0.55
Separación entre dados de la primera fila	m	0.55
Número de dados segunda fila de la poza disipadora	Unid.	26.00
Ancho, alto y largo de los dados de la segunda fila	m	0.55x0.55x0.55
Separación entre dados de la segunda fila	m	0.55
Longitud de separación entre bloques y dados de la	m	6.10
primera fila		
Longitud de separación entre dados de la primera y	m	6.10
segunda fila		
Longitud de separación entre dados de la segunda fila y el	m	6.10
umbral		

Datos de la poza disipadora de energía con fondo no horizontal

Datos	Unidad	Medida	
Ancho de la poza disipadora de energía	m	28.80	
Longitud de la poza disipadora de energía	m	5.60	
Longitud de muros de protección, aguas abajo	m	6.60	
(derecho e izquierdo)			
Altura de muros de protección, aguas abajo	m	3.50	
(derecho e izquierdo)			
Borde libre de los muros de protección de la poza	m	1.33	
disipadora			
Altura del umbral	m	0.30	
Número de bloques de impacto de la poza	Unid.	72.00	
disipadora			
Ancho, alto y largo de los bloques de impacto	m	0.20x0.20x0.40	
Separación entre bloques de impacto	m	0.20	
Número de dados de la poza disipadora de energía	Unid.	50.00	
Ancho, alto y largo de los dados	m	0.29x0.38x0.46	
Separación entre dados	m	0.29	
Longitud de separación entre bloques y dados	m	1.73	
Longitud de separación entre dados y el umbral	m	2.81	

Datos de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R.

4.8. Diseño del modelo hidráulico

El modelo se diseñó a escala $L_M/L_P = 1/20$ teniendo en cuenta el espacio donde se va a construir y realizar el modelamiento (vivienda del tesista), además con la escala elegida permite que exista la turbulencia del fluido (agua) con el que se va a modelar.

-Diseño geométrico del modelo

Tabla 27

Datos del diseño del modelo físico a escala reducida 1/20

Datos	Unidad	Medida
Longitud del tramo del río aguas arriba del barrage	m	7.00

Longitud del tramo del río aguas abajo del barrage	m	2.35
Pendiente del río sin colmatación aguas arriba del barrage	m/m	0.0031
Pendiente de río aguas abajo del barrage	m/m	0.0182
Ancho del río donde va el barrage	m	1.44
Pendiente del antecanal	m/m	0.0025
Caudal menor	L/s	0.94
Caudal mayor	L/s	35.94
d ₁₀ de guijarros y cantos	m	6.63
d ₃₀ de guijarros y cantos	m	10.28
d ₆₀ de guijarros y cantos	m	14.41
d ₉₀ de guijarros y cantos	m	19.57
d ₁₀ de arenas y gravas	m	0.014
d ₃₀ de arenas y gravas	m	0.042
d ₆₀ de arenas y gravas	m	0.887
d ₉₀ de arenas y gravas	m	3.011
Longitud del bocal	m	0.075
Altura del bocal	m	0.027
Altura del barrage fijo-fusible	m	0.043
Longitud del barrage fijo	m	1.150
Longitud del barrage fusible	m	0.145
Ancho de corona del barrage fijo	m	0.020
Ancho de corona del barrage fusible	m	0.039
Talud aguas arriba del barrage fijo (H:V)	Sin unidad	1:1
Talud aguas abajo del barrage fijo (H:V)	Sin unidad	2:1
Talud aguas arriba del barrage fusible (H:V)	Sin unidad	1:1
Talud aguas abajo del barrage fusible (H:V)	Sin unidad	1.8:1
Longitud de muros de protección, aguas arriba (derecho e	m	0.21
izquierdo)		
Altura de muros de protección, aguas arriba (derecho e	m	0.10
izquierdo)		

Datos del diseño de la poza disipadora de energía con fondo no horizontal a escala reducida 1/20

Datos	Unidad	Medida	
Ancho de la poza disipadora de energía	m	1.440	
Longitud de la poza disipadora de energía	m	0.915	
Longitud de muros de protección, aguas abajo	m	0.965	
(derecho e izquierdo)			
Altura de muros de protección, aguas abajo	m	0.140	
(derecho e izquierdo)			
Borde libre de los muros de protección de la poza	m	0.020	
disipadora			
Pendiente longitudinal del fondo de la poza	m/m	0.02	
disipadora			
Altura del umbral	m	0.089	
Número de bloques de impacto de la poza	Unid.	26.00	
disipadora			
Ancho, alto y largo de los bloques de impacto	m	0.028x0.020x0.040	
Separación entre bloques de impacto	m	0.028	
Número de dados primera fila de la poza disipadora	Unid.	27.00	
Ancho, alto y largo de los dados de la primera fila	m	0.028x0.028x0.028	
Separación entre dados de la primera fila	m	0.028	
Número de dados segunda fila de la poza	Unid.	26.00	
disipadora			
Ancho, alto y largo de los dados de la segunda fila	m	0.028x0.028x0.028	
Separación entre dados de la segunda fila	m	0.028	
Longitud de separación entre bloques y dados de la	m	0.305	
primera fila			
Longitud de separación entre dados de la primera y	m	0.305	
segunda fila			
Longitud de separación entre dados de la segunda	m	0.305	
fila y el umbral			

Datos del diseño de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. a escala reducida 1/20

Datos	Unidad	Medida
Ancho de la poza disipadora de energía	m	1.44
Longitud de la poza disipadora de energía	m	0.28
Longitud de muros de protección, aguas abajo	m	0.33
(derecho e izquierdo)		
Altura de muros de protección, aguas abajo	m	0.175
(derecho e izquierdo)		
Borde libre de los muros de protección de la poza	m	0.067
disipadora		
Altura del umbral	m	0.015
Número de bloques de impacto de la poza	Unid.	72.00
disipadora		
Ancho, alto y largo de los bloques de impacto	m	0.010x0.010x0.020
Separación entre bloques de impacto	m	0.010
Número de dados de la poza disipadora de energía	Unid.	50.00
Ancho, alto y largo de los dados	m	0.015x0.019x0.023
Separación entre dados	m	0.015
Longitud de separación entre bloques y dados	m	0.087
Longitud de separación entre dados y el umbral	m	0.141

Como se observa en las tablas 28 y 29 la poza disipadora de energía con mayor longitud es la de fondo no horizontal, esto se debe a que dicha poza disipadora está diseñada específicamente para ríos de alta montaña.

-Escalamiento de la rugosidad de la estructura

La rugosidad de la estructura (prototipo) se tomó n = 0.017 s/m^{1/3} que vendría a ser para concreto desgastado, pasando a escala del modelo es n = 0.010 s/m^{1/3}, esta rugosidad corresponde a acero nuevo pulido esmaltado que está entre 0.010 s/m^{1/3} y 0.012 s/m^{1/3}, la cual será construido el barrage, la poza disipadora y el muro de protección de la captación Cristo Rey para la calibración del modelo físico.

Para los nuevos diseños del barrage fijo-fusible, la poza disipadora de fondo no horizontal y la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. se usó como rugosidad de prototipo al concreto en condiciones regulares que es $n = 0.016 \text{ s/m}^{1/3}$, a escala viene siendo $n = 0.010 \text{ s/m}^{1/3}$ en la cual se utilizó el acero nuevo pulido esmaltado y para los muros de protección aguas arriba y aguas abajo se utilizó el vidrio que tiene un $n = 0.010 \text{ s/m}^{1/3}$.

-Escalamiento de la rugosidad del lecho del río

La rugosidad del prototipo viene a ser el promedio del tamaño de las partículas d₃₀ de las arenas y gravas (0.00084) y de cantos y guijarros (0.2056), calculado con la fórmula (22) resulta n = $0.030 \text{ s/m}^{1/3}$. Por lo tanto, pasando a escala $L_M/L_P = 1/20$ la rugosidad del lecho del río en el modelo es n = $0.018 \text{ s/m}^{1/3}$. La cual corresponde al concreto sin pulir que está entre 0.014 y 0.020 s/m^{1/3}.

-Escalamiento de los sedimentos del lecho del río

En el muestreo de sedimentos se ha encontrado presencia de limos, arenas, gravas, guijarros y cantos. Mediante el análisis granulométrico estos sedimentos tienen una distribución granulométrica no uniforme (Cu>2) con un Cu = 2.17 por lo que se utilizó un tamaño máximo de sedimento para el modelo el d₉₀. Esto a escala $L_M/L_P = 1/20$ el tamaño máximo de los sedimentos es 19.57 mm (material que pasa el tamiz de 3/4"). El material tamizado fue obtenido del mismo río Chonta.

4.9. Construcción del modelo físico

El modelo físico se construyó en la vivienda del tesista a escala reducida 1/20 con las medidas especificadas en las tablas 27, 28 y 29. El material con rugosidad a escala con el que se construyó la estructura es el acero nuevo pulido esmaltado y el vidrio para los muros de protección, para el río es el concreto sin pulir. Además, se hizo un sistema de recirculación para modelar con diferentes caudales a través de bombeo, esto se logró mediante un tanque de aforo, tanques de entrada y salida del modelo, dos llaves de paso de 4", tubería de PVC de 4" y una motobomba de 4 pulgadas de diámetro.

4.10. Calibración del modelo físico

El modelo fue calibrado mediante los caudales aforados y los tirantes de agua medidos sobre el barrage de la captación Cristo Rey (prototipo), previamente llevados a escala 1/20. Mediante una regla graduada de metal se midieron los tirantes de agua sobre el barrage del modelo (en la margen izquierda, derecha y central). Previo a esto se tuvo que

agregar sedimento hasta la altura del barrage para simular la realidad con el que se encuentra el prototipo.

Tabla 30

		Tirantes sobre el barrage					
N°	Caudal	Margen l	Izquierdo Centro		Centro Margen		rgen
	(M 5/S)					Der	echo
		(mm)	(m)	(mm)	(m)	(mm)	(m)
1	0.001322	7.0	0.0070	6.5	0.0065	9.0	0.0090
2	0.001242	7.0	0.0070	6.5	0.0065	8.5	0.0085
3	0.002527	11.3	0.0113	9.5	0.0095	15.0	0.0150
4	0.007251	17.0	0.0170	16.0	0.0160	19.0	0.0190
5	0.001489	9.5	0.0095	8.5	0.0085	11.0	0.0110
6	0.002150	10.0	0.0100	9.5	0.0095	13.0	0.0130
7	0.007298	17.0	0.0170	17.0	0.0170	19.0	0.0190

Tirantes de agua obtenidos en la calibración del modelo físico a escala 1/20

Comparando los resultados de los tirantes de la tabla 30 con los tirantes de la tabla 15, se verificó que los tirantes del prototipo pasados a escala 1/20 y los tirantes del modelo son iguales. Por lo tanto, el modelo cumple con las leyes de similitud y está en óptimas condiciones para los ensayos.

4.11. Tiempos de ensayo en el modelo

En la tabla 31 se muestran los caudales y las duraciones para los ensayos en el modelo físico, estos se han obtenido mediante aforos desde el mes de octubre de 2023 hasta abril de 2024 que varían desde 1.676 m³/s hasta 15.527 m³/s.

La duración de cada caudal se estimó mediante el tiempo que tardó en descender o ascender el caudal en el río después de una lluvia mediante la visualización y control del tiempo.

Se adicionó en los ensayos el caudal de máximas avenidas que se obtuvo con el cálculo del caudal dominante 64.30 m³/s, para no dejar espacio entre el caudal máximo de aforos y el caudal de máximas avenidas se adicionaron caudales teniendo un total de 30 caudales para el modelamiento. Los caudales y tiempos para los ensayos están en escala $L_M/L_P = 1/20$ que se calcularon mediante las fórmulas 65 y 64, ubicados en las dos últimas columnas de la tabla 31.

Caudales del río Chonta y duración par	ı los ensayos
--	---------------

\mathbf{N}°	Caudal del prototipo (m3/s)	Duración de caudal en el prototipo (h)	Caudal del modelo (L/s)	Duración del caudal en el modelo (h)
1	1.676	72	0.94	16.10
2	2.688	48	1.50	10.73
3	3.846	36	2.15	8.05
4	4.521	30	2.53	6.71
5	6.000	24	3.35	5.37
6	8.000	14	4.47	3.13
7	10.000	12	5.59	2.68
8	12.970	12	7.25	2.68
9	13.054	10	7.30	2.24
10	15.527	10	8.68	2.24
11	18.000	8	10.06	1.79
12	20.000	8	11.18	1.79
13	22.000	6	12.30	1.34
14	25.000	6	13.98	1.34
15	28.000	6	15.65	1.34
16	30.000	4	16.77	0.89
17	32.000	4	17.89	0.89
18	35.000	4	19.57	0.89
19	38.000	4	21.24	0.89
20	40.000	2	22.36	0.45
21	42.000	2	23.48	0.45
22	45.000	2	25.16	0.45
23	48.000	1.8	26.83	0.40
24	50.000	1.5	27.95	0.34
25	52.000	1.4	29.07	0.31
26	55.000	1.3	30.75	0.29
27	58.000	1.2	32.42	0.27
28	60.000	1	33.54	0.22
29	62.000	1	34.66	0.22
30	64.300	1	35.94	0.22

4.12. Ensayos en el modelo físico

Los ensayos se realizaron en el modelo físico a escala 1/20 mediante dos fases; la primera haciendo recircular diferentes caudales donde la captación se encuentra colmatada con

sedimentos conforme a la actualidad (barrage fijo); la segunda haciendo recircular diferentes caudales donde la captación se encuentra descolmatada debido a la apertura del barrage en ambos extremos denominados barrages fusibles.

4.12.1. Ensayo en condiciones de captación colmatada con barrage fijo

En esta fase se hicieron recircular los diferentes caudales que se encuentran en la tabla 31, para este ensayo no se utilizó la duración de cada caudal debido a que se está modelando en condiciones de captación colmatada.

Figura 56

Vista frontal de la captación Cristo Rey colmatada y la poza disipadora de energía de fondo no horizontal a escala 1/20



Figura 57

Vista frontal de la captación Cristo Rey colmatada y la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R.



Las pozas disipadoras de energía están diseñadas para la captación existente es por ello que al circular un caudal este ingresa en forma de salto debido a que sin la presencia de una poza disipadora se ha ido erosionando y profundizando el lecho del río aguas abajo de la captación.

En las tablas 37 y 38 del anexo 6 se presentan las profundidades desde la regla transversal hasta el fondo del río Chonta sin sedimento y profundidades de los sedimentos del río Chonta a escala 1/20 en los ejes transversales antes de la descolmatación.

En la tabla 39 del anexo 7 se muestran los tirantes de agua, aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey a escala 1/20, las medidas se tomaron para cada caudal de la tabla 31 en condiciones de captación colmatada en 3 puntos de los ejes transversales en la parte derecha, central e izquierda del río. En la tabla 40 se presentan los tirantes centrales a la salida de las pozas disipadoras en la que se observa que los tirantes de la poza disipadora de fondo no horizontal son mayores que los tirantes de la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R.

4.12.2. Ensayo en condiciones de captación descolmatada con barrage fijo-fusible

Se hicieron recircular los diferentes caudales que se encuentran en la tabla 31, cada caudal con una duración respectiva debido a que se modela en condiciones de captación descolmatada, es por ello que se abrió los extremos del barrage llamados barrages fusibles.

Vista frontal del barrage fijo-fusible a escala 1/20



Al realizar la recirculación de diferentes caudales en el modelo, el caudal con el que se logra la apertura del barrage fusible derecho es de 1.50 L/s y 2.688 m³/s a escala real, mientras que el barrage fusible izquierdo se apertura en su totalidad con un caudal de 3.35 L/s en el modelo y 6 m³/s en prototipo; esto se debe a que frente del barrage fusible izquierdo existe mayor presencia de sedimento.

Figura 59

Vista frontal del barrage fijo fusible en la descolmatación de la captación Cristo Rey y la poza disipadora de energía de fondo no horizontal a escala 1/20



Vista frontal del barrage fijo fusible en la descolmatación de la captación Cristo Rey y la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. a escala 1/20



En las tablas 41, 42, 43, 44, 45 y 46 del anexo 8 se presentan las profundidades de los sedimentos del río Chonta a escala 1/20 en los ejes transversales, después de iniciada la descolmatación con diferentes caudales. Se observa que las profundidades disminuyen al aumentar los caudales debido al mayor arrastre de sedimentos, si la profundidad da valor de cero es porque existe la descolmatación total en ese punto.

En la tabla 47 del anexo 9 se muestran los tirantes de agua, aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey a escala 1/20, las medidas se tomaron para cada caudal de la tabla 31 en condiciones de captación descolmatada en 3 puntos de los ejes transversales en la parte derecha, central e izquierda del río.

Los tirantes de la tabla 47 aguas arriba del barrage fijo-fusible son menores que los tirantes de la tabla 39 (barrage fijo) esto se debe a la apertura del barrage fijo en ambos extremos originando la descolmatación y disminuyendo los tirantes de agua.

La apertura de los extremos del barrage fijo produce un flujo de agua y sedimentos aguas abajo del barrage. Mediante el modelamiento se observó que los sedimentos son depositados en su gran mayoría en la poza disipadora de energía, es por ello que en la tabla 48 del anexo 10 se presentan las alturas de los sedimento depositados en la poza disipadora de energía de fondo no horizontal luego de finalizar todo el modelamiento con una duración de 74 horas con 44 minutos, estas alturas son medidas mediante ejes

transversales que inician desde los bloques hasta el final de la poza cada 0.15 m a escala 1/20, figura 96 del anexo 14.

Figura 61

Vista de la poza disipadora de fondo no horizontal con la deposición de sedimentos luego de finalizar todo el modelamiento con una duración de 74 horas con 44 minutos



En la figura 61 se observa la deposición de los sedimentos, como guijarros, cantos, gravas y arenas a escala 1/20, estos sedimentos sobrepasan en altura a los dados de la primera fila y son depositados en su totalidad en la poza disipadora de fondo no horizontal.

En la tabla 49 del anexo 10 se muestra las alturas de los sedimentos depositados en la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. luego de finalizar el modelamiento con un tiempo de 74 horas con 44 minutos, las alturas son medidas mediante ejes transversales que inician en dirección de los bloques hasta el final de la poza cada 0.10 m a escala 1/20, figura 97 del anexo 14.

Vista de la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. con la deposición de sedimentos luego de finalizar todo el modelamiento con una duración de 74 horas con 44 minutos



En la figura 62 se observa una mayor deposición de sedimentos en la parte izquierda debido a que el agua no ha tenido la suficiente fuerza para el arrastre, además en esa dirección existe mayor presencia de acumulación de sedimentos sobre el barrage. En la parte central y derecha se observa la presencia de cantos y guijarros a escala 1/20 que son atrapados en los bloques deflectores impidiendo una buena disipación.

El coeficiente de descarga del barrage fijo-fisible de la captación Cristo Rey se calculó despejando de la fórmula 25 y se presenta en la tabla 50 del anexo 11 y en la figura 63.

Figura 63



Coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible

Se calculó la energía cinética sobre el barrage fijo utilizando las fórmulas 41 y 70 con el caudal máximo de 64.30 m³/s, un ancho de río de 28.80 m, el tirante de agua de 0.80 m y la velocidad de 2.79 m/s, se obtuvo una energía cinética de 1.20 m. Así mismo, se determinó la energía cinética sobre el barrage fijo-fusible con un caudal y ancho del río igual a la anterior, un tirante de agua de 0.62 m, una velocidad de 3.60 m/s en la que se obtuvo una energía cinética de 1.28 m. Ambas energías son altas, es por ello que se emplea una poza disipadora aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey.

4.12.3. Eficiencia de poza disipadora de energía

-Eficiencia en captación colmatada con barrage fijo

Se realizaron las mediciones de los tirantes conjugados de las pozas disipadoras en la parte derecha, central e izquierda para cada caudal modelado luego se realizó un promedio de los tres para obtener un tirante conjugado menor y un tirante conjugado mayor para determinar la eficiencia para cada poza disipadora de energía.

Figura 64

Medición del tirante conjugado menor y mayor de la poza disipadora de fondo no horizontal en condiciones de captación colmatada



Medición del tirante conjugado menor y mayor de la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. en condiciones de captación colmatada



En las tablas 51 y 52 del anexo 12 se presentan los tirantes conjugados menores y los tirantes conjugados mayores, así mismo las velocidades de agua al ingreso y las velocidades a la salida de las pozas disipadoras para cada caudal. De manera gráfica en la figura 66 se observa la relación de la eficiencia de disipación (E2/E1) contra el caudal (Q) a escala 1/20

Figura 66

Relación de la eficiencia de disipación (E2/E1) contra el caudal (Q) a escala 1/20, en condiciones de captación colmatada



Como se observa en el gráfico de la figura 66, la poza disipadora de fondo no horizontal tiene una eficiencia del 100% para caudales desde 0.94 L/s hasta 35.94 L/s, mientras que la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. tiene una eficiencia del 100% para caudales entre 0.94 L/s y 5.59 L/s; luego su eficiencia va disminuyendo conforme los caudales van aumentando, obteniendo una eficiencia menor del 5.17% para el caudal de 35.94 L/s. Además, se aprecia que a partir del caudal de 21.24 L/s la eficiencia se comienza a incrementar, esto se debe a que la caída del agua da justo en los bloques de impacto generando una disipación hasta un 45.96% para el caudal de 29.07 L/s.

-Eficiencia en captación descolmatada con barrage fijo-fusible

Se realizaron las mediciones de los tirantes conjugados como en el ensayo anterior para ambas pozas disipadoras.

Figura 67

Medición del tirante menor y mayor de la poza disipadora de fondo no horizontal en condiciones de captación descolmatada



En las tablas 53 y 54 del anexo 13 se presentan los tirantes conjugados y las velocidades de agua al ingreso y salida de las pozas disipadoras para cada caudal. De manera gráfica en la figura 68 se observa la relación de la eficiencia de disipación (E2/E1) contra el caudal (Q) a escala 1/20.

Relación de la eficiencia de disipación (E2/E1) contra el caudal (Q) a escala 1/20, en condiciones de captación descolmatada



En el gráfico de la figura 68 se observa que la poza disipadora de fondo no horizontal tiene una eficiencia de disipación del 100% para caudales que se encuentran entre 0.94 L/s y 35.94 L/s. La poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. tiene una eficiencia del 100% para caudales entre 0.94 L/s y 3.35 L/s, luego va disminuyendo y aumentando la eficiencia mediante el incremento de los caudales, la deposición y arrastre los sedimentos en la poza disipadora; obteniendo una eficiencia menor de 16.65%.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Mediante el modelamiento físico realizado de ambas pozas disipadoras se propone como ideal a la poza disipadora de energía de fondo no horizontal con longitud de 0.915 m (18.30 m a escala real), que cuenta con una fila de bloques, dos filas de dados y un umbral de salida, debido a que tiene una eficiencia del 100% en ambos escenarios, tanto para condiciones de captación colmatada (barrage fijo) como para condiciones de captación descolmatada (barrage fijo-fusible).
- Con la topografía, la medición directa de las partes y la visualización se caracterizó la captación Cristo Rey ubicada en el río Chonta con coordenadas UTM 781121.00 Este y 9211526.00 Norte en la zona 17 sur a una altitud de 2725 m.s.n.m. Mediante el software Hec-Ras se pudo observar el problema de socavación aguas abajo del barrage que se ha venido dando a través del tiempo en el que existe un desnivel entre el cauce aguas arriba y aguas abajo de la captación de 4.10 m y una velocidad de agua después del barrage de 7.07 m/s para el caudal máximo de 64.30 m³/s. Cuenta con un barrage fijo tipo vertedero de concreto ciclópeo desgastado de 0.95 m de altura, 30.50 m de longitud y 0.90 m de ancho de corona, este barrage se encuentra colmatado con sedimentos hasta la corona con un volumen aproximado de 1950.35 m³ en una longitud de río de 100 m desde el barrage. Tiene un bocal ubicado en la margen derecha del río Chonta de 1.50 m de largo por 0.55 m de alto aproximadamente sin la presencia de rejilla, cuenta con un antecanal rectangular con pendiente de 0.0025 m/m con pared lateral de tierra natura y vegetación en la parte derecha hasta una longitud de 8 m. Además, solo cuenta con un muro de protección de concreto desgastado ubicado en la margen izquierda del río con una longitud de 33.60 m, 2.20 m de alto y 0.30 m de ancho, el muro de protección aguas abajo cuenta con una aleta de 1.90 m de longitud y 0.30 m de ancho con un ángulo de 142° respecto al muro de protección. Por último, la Captación Cristo Rey tiene una poza disipadora parcialmente destruida de 18.60 m de ancho y una longitud aproximada de 4.50 m.
- De acuerdo a la topografía realizada del río Chonta 200 m aguas arriba y 80 m aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey y el análisis granulométrico, el río Chonta se clasificó como un río de alta montaña en donde existe la presencia de guijarros, cantos rodados, grava y arena. Tiene un índice de sinuosidad moderado de S o K = 1.42. Se estimó una pendiente longitudinal del río antes de la colmatación de 0.31% y una pendiente aguas abajo de la estructura de 1.82 %, la forma de la sección del

cauce es trapezoidal con un ancho que varía de 13.98 m hasta 23.21 m con profundidades aproximadas de 1.40 m y 3.50 m, mientras que aguas abajo de la estructura el ancho del río varía desde 39.70 m hasta 16.29 m. Se calculó un desnivel entre el cauce aguas arriba del barrage y el cauce después de la estructura de 4.10 m, desnivel que se ha generado mediante la erosión al pie de la estructura.

- De acuerdo a los ensayos realizados en condiciones de captación colmatada con barrage fijo, la poza disipadora de fondo no horizontal tiene una eficiencia del 100% para caudales que se encuentran entre 0.94 L/s y 35.94 L/s a escala 1/20.
- Mediante los ensayos realizados en condiciones de captación descolmatada con barrage fijo-fusible, la poza disipadora de fondo no horizontal tiene una eficiencia del 100% para caudales modelados entre 0.94 L/s y 35.94 L/s a escala 1/20.
- En el modelamiento para condiciones de captación colmatada con barrage fijo, la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. tiene una eficiencia del 100% para caudales entre 0.94 L/s y 5.59 L/s a escala 1/20, luego su eficiencia disminuye conforme el caudal aumenta, obteniendo una eficiencia menor del 5.17% para el caudal máximo de 35.94 L/s a escala 1/20.
- Según los ensayos realizados el modelamiento físico para condiciones de captación descolmatada con barrage fijo-fusible, la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. tiene una eficiencia del 100% para caudales entre 0.94 L/s y 3.35 L/s, luego va disminuyendo y aumentando la eficiencia mediante el incremento de los caudales obteniendo una eficiencia menor de 16.65%.

5.2. RECOMENDACIONES

- En la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. se recomienda realizar una modificación de los espacios entre dados y los espacios entre bloques según el tamaño del material más grande del río, debido a que, si los espaciamientos son menores el material queda atrapado disminuyendo la eficiencia de disipación de la energía cinética.
- Se debe realizar la topografía del cauce de la zona de estudio y el muestreo de sedimentos en los meses no lluviosos, donde el agua descienda para tener mayor facilidad de ingreso al lecho del río, caso contrario se debe contar con una línea de vida para evitar accidentes.
- Se sugiere realizar investigaciones similares para caudales mayores a los estudiados con el fin de conocer con qué caudal la poza disipadora de fondo no horizontal empieza a descender su eficiencia del 100%.
- Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden aplicarse a captaciones que se encuentren socavadas aguas abajo del barrage.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Bibliografía

- Apaclla, N. R. (2014). *Hidráulica Fluvial*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú. Editorial Q y P Impresores, 1ra ed. 219 P.
- Bolinaga, J. J. (1979). Drenaje Urbano. Instituto Nacional de Obras Sanitarias. Caracas, Venezuela. Editorial Científico, 1ra ed. 470 P.
- Breña, P. A. F., & Jacobo, V. M. A. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. Tlalpan, México. Editorial Tlalpan, 1ra ed.287 P.
- Burgos, F. N. I. (2016). Estimación del Coeficiente de Rugosidad de Manning Mediante Mediciones de Velocidad y Profundidad, Empleando un Molinete Hidrométrico, en el Río Chonta, Cajamarca, 2016 [Tesis]. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 142 P.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones*. México. Editorial Mexicana, Núm 736, 1ra ed. 997 P.
- Chow, V. te. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá, Colombia. Editorial Nomos S.A. 1ra ed. 667P.
- Duarte, O. M. A., Palomino, S. Y. A., & Vargas, C. P. D. (2020). Tanque Disipador de Energía en Estructuras Hidráulicas, en el Laboratorio de Ingenierías de la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Villavicencio [Tesis]. Colombia, Villavicencio. Universidad Cooperativa de Colombia. 82 P.
- Espejo, M. O. K., & Zabaleta, C. Y. (2021). Modelamiento Numérico para Mejorar la Eficiencia de Funcionamiento de las Pozas Disipadoras en Ríos de Alta Pendiente: Caso de Estudio Bocatoma San Pedro - Ayacucho [Tesis]. Lima, Perú. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 130 P.
- French, R. H. (1988). *Hidráulica de Canales Abiertos*. México. Editorial Mc Graw Hill, 1era ed. 724 P.
- Giles, R. V, Evett, J. B., & Liu, C. (2003). Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. España. España. Editorial Mc Graw Hill, 3ra ed. 444 P.

- Gonzáles, C. A. M. (2008). *Lecciones de Topografía Replanteos*. (Club Universitario). San Vicente. Editorial Club Universitario, 4ta ed. 70 P.
- Graus, A. D. Á., & Medina, S. E. E. (2001). Modelo Hidráulico de Poza Disipadora de Energía con Fondo Fijo no Horizontal para Captación de Río de Montaña.
- Guerrero, B. V. G. (2015). Diseño Definitivo de la Alternativa Óptima de una Planta de Tratamiento de Agua Potable en la Región Costa [Tesis]. Machala, Ecuador. Universidad Técnica de Machala. 30 P.
- Herrera, V. O. A. (2019). Estructura Disipadora de Energía Aguas Abajo de la Captación Tres Molinos-Cajamarca [Tesis]. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 135 P.
- Huamán, V. J. F. (2016a). *Diseño Hidráulico de Estructuras*. Separata, Universidad Nacional de Cajamarca.
- Huamán, V. J. F. (2016b). Efectos de la Descolmatación Inducida en la Eficiencia de Captación y en la Morfología del Río Grande-Cajamarca, Aguas Arriba del Barrage [Tesis de Doctorado]. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 104 P.
- Mansen, V. A. (2015). Diseño de Bocatomas. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú 47 P.
- Martín, V. J. P. (2001). *Ingeniería de Ríos*. Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona. Editorial Mexicana Registro N°2317, 1ra ed. 301 P.
- Martínez, M. E., Batanero, A. P., Martínez, G. I., Martínez, O. E., & González, O. E. (2007). *Diseño de Pequeñas Presas*. Madrid, España. Editorial Bellisco 3ra ed. 1094 P.
- Novák, P., Moffat, I. A. B., & Nalluri, C. (2001). *Estructuras Hidráulicas*. Colombia. Editorial Mc Graw Hill, 2da ed. 599 P.
- Ochoa, R. T. (2011). *Hidráulica de Ríos y Procesos Morfológicos*. Colombia. Editorial Ecoe Ediciones, 1ra ed. 632 P.
- Pérez, C. G. (2016). Manual de Obras Hidráulicas. Lima, Perú. 184 P.

- Pérez, M. G. B., Rodríguez, C. J. A., & Molina, A. J. P. (2018). *Ingeniería de Ríos*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 279 P.
- Rocha, F. A. (1998). Introducción a la Hidráulica Fluvial. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. 1ra ed. 270 P.
- Rocha, F. A. (2006). La Problemática de la Sedimentación de Embalses en el Aprovechamiento de los Ríos Peruanos, Aplicada al Embalse de Poechos. Primer Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente. Lima, Perú. 1ra ed. 42 P.
- Rocha, F. A. (2010). *La Morfología Fluvial y su Incidencia en la Estabilidad de las Obras Viales*. Lima, Perú. Editorial Historic Channel, 1ra ed.17 P.
- Vásquez, R. L. (2016). Influencia de la Contracción del Cauce en la Profundidad de Socavación en la Descarga de la Estructura de Captación de Agua Huayrapongo en el Río Cajamarquino [Tesis]. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 83 P.
- Ven Te Chow, David R. Maidment, & Larry W. Mays. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santa fe de Bogotá, Colombia. Editorial Nomos S. A. 1ra ed. 299 P.
- Vergara, S. M. A. (1995). Técnicas de Modelación en Hidráulica. México. Editorial Alfaomega S. A. 1ra ed. 293 P.
- Villón, B. M. (2002). *Hidrología*. Cartago, Costa Rica. Editorial MaxSoft, 1ra ed. 217 P.

B. Linkografía

- ANA. (2015). Generación del Mapa Temático de Curva Número (CN). Recuperado de: https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/5675
- Chamorro, G. I. (2011). *Estimación del Caudal por Método de Flotadores*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. Recuperado de: https://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf
- FAO. (2022). Estructuras de Conducción del Agua. Organización de las NacionesUnidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de:

https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x67 08s/x6708s08.htm

- Ibañes, A. S., Moreno, R. H., & Gisberth, B. J. (2014). Morfología de las Cuencas Hidrográficas. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: https://riunet.upv.es/handle/10251/10782
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, Lima, Perú*. Recuperado de: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf
ANEXOS

Anexo 1: Precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones Augusto Weberbauer, La Encañada y Granja Porcón

Tabla 32

Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Augusto Weberbauer

Estación:		AU	GUSTO	WEB	ERBAU	ER		L	ongitu	d:	-78.5 W		
Parám.:	PR	ECIP.	MÁXIN	IA EN	24 HOR	RAS (m	m)	L	atitud	l :		-7.166	5 S
Dpto.			CAJ	AMAF	RCA			A	Altitud		2536 m.s.n.m.		
Prov.			CAJ	AMAF	RCA				TITNA.		776113.9 E		
Dist.			CAJ	AMAF	RCA				UIM:		9207074.7 N		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	ост	NOV	DIC	Pp máx.
1969	13.1	24.1	12.0	21.8	1.5	6.3	0.3	0.3	9.2	0.0	11.9	24.5	24.5
1970	20.5	8.8	18.9	8.2	11.0	8.2	1.7	2.5	7.6	22.0	15.3	10.1	22.0
1971	9.4	17.9	21.7	23.3	3.4	4.0	6.6	3.3	8.2	12.8	7.3	10.6	23.3
1972	9.3	25.2	24.4	17.4	4.2	2.0	1.8	11.5	6.6	10.3	19.9	10.6	25.2
1973	22.9	16.2	11.2	15.0	10.7	5.4	3.3	5.2	20.0	9.8	11.7	12.9	22.9
1974	12.4	16.8	14.2	14.4	18.2	6.4	2.6	9.7	8.5	20.0	10.3	17.0	20.0
1975	20.4	20.8	37.7	30.1	9.9	4.6	3.9	5.6	10.9	14.6	18.4	0.3	37.7
1976	28.4	16.1	16.4	17.3	19.7	11.4	1.2	2.8	3.9	8.8	24.0	12.8	28.4
1977	40.5	20.1	29.0	22.9	11.6	2.4	7.1	0.1	6.6	10.6	12.0	11.3	40.5
1978	4.6	11.9	10.0	9.5	18.1	3.8	2.0	3.8	8.0	5.9	12.0	5.6	18.1
1979	20.6	10.5	28.0	5.8	5.2	1.8	3.9	7.3	9.4	10.0	7.5	17.2	28.0
1980	12.2	7.8	13.3	8.1	3.0	10.7	0.7	2.3	2.2	28.8	16.7	19.2	28.8
1981	21.4	23.1	39.3	12.2	4.9	2.3	2.6	4.8	8.0	15.2	11.9	29.5	39.3
1982	9.8	29.9	17.1	28.2	13.2	3.6	1.1	6.4	7.6	14.9	20.7	30.5	30.5
1983	19.4	28.0	28.1	18.3	8.3	4.7	6.5	1.2	9.7	18.2	6.8	32.5	32.5
1984	7.3	18.4	25.8	10.0	16.3	9.0	10.8	12.6	16.6	16.1	25.9	17.6	25.9
1985	7.7	6.4	6.6	12.4	14.7	0.4	3.4	6.1	7.4	16.2	5.8	8.1	16.2
1986	11.8	11.9	27.3	16.7	9.0	0.4	0.7	5.1	1.1	11.6	14.4	7.0	27.3
1987	13.9	20.6	9.7	15.4	2.3	1.5	4.0	9.0	8.0	8.6	22.8	18.2	22.8
1988	21.4	18.3	8.3	16.0	2.4	3.6	0.0	0.4	6.3	10.3	17.5	10.7	21.4
1989	12.0	25.7	16.5	14.2	15.4	3.6	1.6	2.9	19.2	27.2	17.4	1.2	27.2
1990	18.0	20.5	9.2	12.2	8.6	4.8	0.8	6.2	13.2	13.7	17.3	25.4	25.4
1991	8.6	29.1	22.3	13.9	5.8	0.5	0.3	0.3	3.9	9.7	10.5	26.1	29.1
1992	10.7	7.3	12.7	9.7	7.6	12.8	3.3	3.3	10.0	15.6	8.6	10.0	15.6
1993	8.7	14.6	26.5	10.2	9.5	1.5	3.3	1.9	20.1	24.4	18.6	15.6	26.5
1994	18.0	13.0	34.1	16.7	5.6	2.2	0.0	0.2	2.5	7.2	22.0	32.2	34.1
1995	11.5	20.1	15.3	26.5	5.2	1.3	8.1	6.1	4.7	16.2	19.5	15.2	26.5
1996	12.9	24.1	15.0	13.7	6.2	0.4	0.4	3.5	6.4	12.8	35.5	10.5	35.5

Mínimo	4.6	4.0	4.6	5.8	1.5	0.3	0.0	0.0	1.1	0.0	3.5	0.3	15.6
Máximo	40.5	44.5	43.8	34.0	19.7	12.8	13.7	12.6	24.9	28.8	35.5	51.8	51.8
Desv.Est.	6.6	8.0	8.9	6.0	4.9	3.1	2.8	3.2	5.1	6.1	6.8	9.1	7.4
Promed.	15.8	18.1	20.2	15.6	8.8	4.0	3.1	3.9	8.8	13.8	16.3	16.2	27.4
2023	11.8	14.3	9.6	15.4	2.3	1.5	3.9	8.1	5.6	7.0	22.8	18.2	22.8
2022	10.6	11.6	24.0	16.7	4.7	0.4	0.7	3.5	1.1	11.6	10.1	7.0	24.0
2020	7.8	4.0	133	11.8	14 7	0.4	3.4	5.9	69	16.2	4 5	7.8	16.2
2015	17.1	60	87	12.9	7.6	19	8.8	0.2	47	13.2	19.4	12.6	19.4
2010	12.8	15.1	4.6	83	7.9	4.4	4.2	0.0	3.5	203	11.2	20.4	20.4
2017	16.8	34.6	18.5	12.2	7.2	5.2	11	5.4	9.7	4.0	20.6	12.3	34.6
2010	16.0	16.3	17.0	14.6	67	7.4	23	8.2	8.0	17.1	25.0	51.8	51.8
2013	14.0	21.5	19.8	13.2	26	0.6	14	1.0	19.2	14.3	35	91	21.5
2014	25.2	18.1	20.7	12.0	15.8	2.4	3.1	0.1	24.0	10.2	22.1	87	30.2
2013	25.2	10.0	28.0	22.0	6.0	21	2.5	17	6.6	16.2	11.6	9.5 19.6	
2012	11.7	13.8	13.8	18.3	10.0	4.5	2.5	1.9	12.0	24.2	61	93	<u> </u>
2011	14.7	27.0	25.5	11.2	7.7 10.8	0.4	0.0	1.0	12.7	24.2	27.2	17.6	27.0
2010	14.0	16.4	21.3	22 /	0.7	2.0	5.1	1.5	10.5	0.3	5.2	21.9	<u> </u>
2009	11.9	36.4	20.5	3/0	10.2	9.1 2.9	2.5	1.9	3.2 10.5	16.1	12.2	12.0	36.1
2008	20.2	16.4	23.0	17.0	4.5	0.1	1.3	4.0	5.2	10.8	19.1	5.7 12.6	21.0
2007	20.2	17.1	23.4	21.0	3.2	2.4	5.0 1.2	4.0	10.2	19.0	10.7	14./ 57	23.4
2000	17.2	6.9	25.4	21.0	5.0	2.4	2.0	<u> </u>	9.7	4.0	15.7	14.7	20.0
2005	17.2	16.0	18.0	12.0	3.0	5.0	1.1	5.5	07	12.5	20.6	12.3	20.2
2004	20.2	10.5	10.5	12.4	0.5	3.5	0.0	3.5	4.0	9.5	20.1	12.7	20.1
2003	19.8	12.8	10.5	8.8 12.4	0.7	7.0	1.0	0.1	8.9 4.0	19.2	1/.1	20.8	<u>2/./</u> 28 1
2002	8.2	9.9	19.9	18.7	67	5.2	3.0	5.4	3.4 8.0	20.2	21.0	12.0	21.0
2001	27.8	10.7	23.9	15.9	17.1	5.2	0.9	0.0	5.4 2.4	20.2	20.4	18.2	21.8
2000	9.6	21.1	28.8	15.1	11.4	5.4	1.8	5.5	10.9	3.1	13.6	30.0	30.0
1999	24.4	44.5	13.4	9.7	12.1	7.0	13.7	1.0	12.7	13.8	23.7	13.2	44.5
1998	13.1	25.2	32.2	14.6	5.2	4.1	1.3	3.5	4.6	17.7	13.5	10.5	32.2
1997	14.1	21.0	8.4	8.3	7.5	9.9	0.2	0.0	9.9	13.2	21.3	19.9	21.3
100	1.1.1	01.0	0.4	0.0		0.0	0.0		0.0	10.0	21.2	10.0	

Nota. Fuente: SENAMHI y ANA

Estación:		LA ENCAÑADA							Longitud:			-78.333 W		
Parám.:	PR	ECIP.	MÁXIM	A EN 2	24 HOR	AS (m	m)	L	atitud	l:	-7.123 S			
Dpto.			CAJ	AMAR	CA			A	ltitud		2980 m.s.n.m.			
Prov.			CAJ	AMAR	CA				гттл.		794583.4 E			
Dist.			ENC	CAÑAE	DA				UTWI.		9211773.2 N			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	ОСТ	NOV	DIC	Pp máx.	
1969	17.3	24.7	13.7	22.5	2.4	10.2	1.5	2.6	10.5	5.8	15.5	26.9	26.9	
1970	18.3	15.4	21.6	13.3	14.3	8.9	6.0	4.2	11.4	21.1	17.3	14.0	21.6	
1971	10.8	19.5	34.5	22.8	7.3	9.7	10.9	6.3	9.3	15.6	11.4	15.1	34.5	
1972	10.6	27.5	25.5	18.2	5.4	3.0	1.4	12.1	7.4	9.3	29.0	12.8	29.0	
1973	27.3	17.8	14.1	17.8	12.6	6.4	4.2	8.6	21.3	8.8	22.7	14.5	27.3	
1974	16.3	18.9	15.5	15.5	15.4	7.9	2.6	9.8	9.1	19.5	10.3	16.1	19.5	
1975	18.9	18.3	33.8	28.7	12.0	5.7	3.7	6.6	8.8	16.1	21.6	2.3	33.8	
1976	28.8	17.7	22.1	16.3	19.8	10.4	0.9	4.0	5.5	9.8	21.7	15.6	28.8	
1977	35.5	25.4	30.5	23.4	11.5	3.5	7.0	0.5	10.3	14.4	17.1	14.5	35.5	
1978	7.5	28.9	11.3	11.7	17.4	2.9	4.8	2.9	9.2	10.3	17.3	10.3	28.9	
1979	23.4	12.7	31.0	6.8	7.6	2.6	8.8	7.5	15.9	10.6	8.8	23.0	31.0	
1980	21.5	8.5	16.3	9.5	12.7	9.4	0.5	2.6	2.2	30.3	32.7	20.1	32.7	
1981	21.7	25.8	36.7	21.1	8.9	1.8	2.0	3.7	7.7	19.3	13.3	25.9	36.7	
1982	11.0	26.4	17.9	24.1	12.5	4.4	0.8	6.8	8.4	14.5	19.1	29.2	29.2	
1983	18.4	29.6	28.3	18.9	8.6	3.6	5.0	4.2	9.8	15.4	18.9	29.6	29.6	
1984	8.2	22.7	21.1	15.7	12.5	6.9	14.1	13.4	15.8	18.2	25.7	20.5	25.7	
1985	11.1	17.4	11.0	17.4	15.1	0.3	2.6	4.7	5.8	12.5	4.6	6.2	17.4	
1986	14.2	16.3	22.4	18.7	9.0	0.3	0.5	6.2	2.0	11.0	15.0	10.5	22.4	
1987	23.1	21.7	18.8	17.6	4.1	1.2	5.4	6.9	8.9	11.5	21.0	15.8	23.1	
1988	23.4	18.0	10.0	17.2	3.2	5.0	0.6	1.5	6.6	13.7	18.2	12.9	23.4	
1989	16.3	23.3	15.1	13.3	13.3	2.8	1.2	2.2	17.2	23.8	16.1	0.9	23.8	
1990	15.5	18.2	11.2	15.4	8.5	5.5	0.7	4.9	27.2	18.6	22.6	27.7	27.7	
1991	12.5	33.0	28.9	19.0	13.8	1.8	0.2	0.2	8.2	14.5	15.1	28.4	33.0	
1992	15.3	11.2	17.3	16.2	9.6	14.9	2.5	6.1	16.1	15.6	10.2	12.4	17.3	
1993	10.0	17.1	25.5	16.0	10.4	9.5	2.5	5.7	19.9	23.9	23.6	19.5	25.5	
1994	19.0	15.2	33.2	20.4	12.0	4.1	0.0	3.0	7.4	12.2	21.1	30.2	33.2	
1995	12.3	24.2	18.9	24.4	9.3	2.9	9.1	7.5	6.0	15.0	17.9	21.0	24.4	
1996	17.2	33.6	19.1	19.7	8.3	4.2	0.3	4.7	8.2	18.7	33.1	11.2	33.6	
1997	20.2	23.7	13.7	13.4	9.8	9.1	6.8	1.2	11.2	19.3	28.8	19.2	28.8	
1998	20.2	35.7	27.7	35.3	19.4	4.3	0.4	4.5	18.7	37.3	10.1	25.1	37.3	
1999	24.0	30.1	39.6	18.7	31.4	18.3	7.3	4.7	22.6	11.5	26.1	17.8	39.6	
2000	11.2	19.5	30.6	18.3	16.4	8.3	0.5	6.1	14.0	1.6	14.1	24.3	30.6	
2001	43.8	26.3	24.6	26.2	12.8	0.3	1.4	0.8	11.8	17.2	28.0	17.8	43.8	

Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación La Encañada

2002	16.7	33.4	36.0	27.1	5.7	5.0	1.9	1.1	13.1	29.7	4.8	31.8	36.0
2003	12.4	20.8	23.1	19.4	9.7	14.2	0.0	6.6	13.2	18.6	28.1	22.5	28.1
2004	29.3	16.2	17.2	17.1	11.2	2.8	13.3	0.5	13.8	35.7	18.3	22.1	35.7
2005	22.4	19.4	35.3	11.2	19.8	4.7	1.2	4.7	3.8	25.4	11.1	28.3	35.3
2006	21.9	22.2	39.1	42.1	5.9	9.5	8.6	2.9	13.3	23.9	16.2	18.5	42.1
2007	26.3	14.6	48.4	18.5	17.4	0.0	8.0	2.3	23.8	23.0	23.7	20.1	48.4
2008	29.1	20.2	33.1	23.2	10.4	9.9	9.2	7.3	20.0	32.3	21.9	15.4	33.1
2009	31.8	12.1	42.3	19.8	31.7	3.0	5.2	5.4	4.6	17.5	22.9	23.3	42.3
2010	12.5	32.7	29.6	15.4	30.8	6.2	6.8	0.0	14.1	39.1	25.3	20.8	39.1
2011	15.0	32.1	16.7	27.8	17.9	0.4	7.7	0.0	13.4	13.9	18.3	14.7	32.1
2012	25.0	31.4	28.7	17.7	12.6	10.0	0.0	7.5	1.5	22.8	33.6	12.6	33.6
2013	10.0	28.1	16.8	12.9	27.2	10.4	2.8	5.9	0.0	31.6	14.1	17.8	31.6
2014	25.6	28.5	34.5	19.4	14.5	0.0	0.2	0.4	14.5	18.1	27.7	37.2	37.2
2015	29.5	20.1	42.0	18.8	31.7	1.9	5.3	0.0	1.4	6.3	31.8	4.3	42.0
2016	15.7	20.1	27.9	19.9	2.1	8.8	0.8	1.0	19.3	24.9	4.8	31.8	31.8
2017	19.0	28.6	29.6	20.8	12.0	9.4	3.2	15.7	4.1	29.8	18.3	29.2	29.8
2018	27.8	28.1	21.1	22.0	26.9	3.8	0.0	0.0	20.2	21.2	27.0	15.0	28.1
2019	46.2	30.4	27.5	30.6	16.3	12.0	3.1	0.0	8.7	17.3	20.9	28.2	46.2
2020	14.9	11.4	22.9	17.1	25.8	12.4	17.6	0.1	12.2	26.2	20.8	36.1	36.1
2021	19.0	33.2	50.9	19.1	21.2	10.7	0.9	5.2	6.8	33.3	48.0	21.8	50.9
2022	17.6	44.6	37.4	28.9	12.2	9.8	3.2	4.6	17.2	21.3	3.5	28.3	44.6
2023	45.2	52.8	32.8	21.2	16.3	3.2	3.5	8.8	9.0	25.6	19.6	27.3	52.8
Prom.	20.3	23.7	26.1	19.7	13.9	6.1	4.0	4.5	11.3	19.2	19.8	20.0	32.6
Desv.Est.	8.8	8.4	9.9	6.1	7.4	4.3	4.0	3.5	6.2	8.3	8.4	8.2	8.0
Máximo	46.2	52.8	50.9	42.1	31.7	18.3	17.6	15.7	27.2	39.1	48.0	37.2	52.8
Mínimo	7.5	8.5	10.0	6.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	3.5	0.9	17.3

Nota. Fuente: SENAMHI y ANA

Estación:		GRANJA PORCON							Longitud:			-78.633 W		
Parám.:	PR	RECIP.	MÁXIN	IA EN	24 HOR	AS (m	m)	I	atitud	l:	-7.033 S			
Dpto.			CAJ	AMAR	RCA			A	Altitud	:	30	00 m.s	.n.m.	
Prov.			SA	N PAB	LO				титал.		761454.8 E			
Dist.		_	TU	MBAD	EN	_	_		UTM:		92	221904	.8 N	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	ост	NOV	DIC	PPmáx	
1969	31.0	26.5	19.5	25.0	5.5	23.0	5.5	10.0	15.0	25.0	27.5	35.0	35.0	
1970	11.0	37.0	30.5	30.0	25.0	11.0	20.0	10.0	24.0	18.0	24.0	27.0	37.0	
1971	15.5	25.0	77.0	21.0	20.0	28.5	25.0	16.0	13.0	25.0	25.0	30.0	77.0	
1972	15.0	35.0	29.0	21.0	9.5	6.5	0.0	14.0	10.2	6.0	59.0	20.0	59.0	
1973	42.0	23.0	23.5	27.0	19.0	9.5	7.1	20.0	25.8	5.5	59.0	20.0	59.0	
1974	29.0	26.0	20.0	19.0	6.0	13.0	2.5	10.0	11.0	18.0	10.5	13.0	29.0	
1975	14.0	10.0	21.0	23.9	19.0	9.5	3.0	10.0	2.0	21.0	32.0	9.0	32.0	
1976	30.0	23.0	41.0	13.0	20.0	7.0	0.0	8.0	11.0	13.0	14.0	25.0	41.0	
1977	19.0	43.0	35.5	25.0	11.0	7.0	6.5	2.0	22.5	27.0	34.0	25.0	43.0	
1978	17.0	85.0	15.5	19.0	15.0	0.0	14.0	0.0	13.0	25.0	35.0	26.0	85.0	
1979	32.5	20.0	41.0	10.0	15.5	5.3	25.0	8.0	37.4	12.5	13.0	42.0	42.0	
1980	52.2	11.0	26.0	14.0	44.6	5.2	0.0	3.5	2.2	35.4	85.7	23.2	85.7	
1981	22.8	34.7	28.0	50.5	22.0	0.0	0.0	0.0	6.5	32.7	18.0	14.0	50.5	
1982	15.0	15.0	20.5	10.4	10.0	7.0	0.0	8.0	11.0	13.0	14.0	25.0	25.0	
1983	15.0	35.0	29.0	21.0	9.5	0.0	0.0	14.0	10.2	6.0	59.0	20.0	59.0	
1984	11.0	37.0	5.4	34.4	0.0	0.0	25.0	16.0	13.0	25.0	25.0	30.0	37.0	
1985	22.4	53.7	25.4	33.9	16.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.8	0.0	53.7	
1986	22.0	31.0	6.0	25.2	9.2	0.0	0.0	10.0	5.0	9.0	17.0	22.0	31.0	
1987	53.5	25.5	49.0	25.0	10.0	0.0	10.0	0.0	12.0	21.0	15.0	8.0	53.5	
1988	30.0	17.0	15.5	21.0	5.8	9.5	2.5	5.0	7.5	25.0	20.5	20.0	30.0	
1989	30.6	15.5	10.5	10.5	6.5	0.0	0.0	0.0	10.5	12.6	12.0	0.0	30.6	
1990	7.3	10.5	18.0	26.1	8.0	7.6	0.5	0.6	73.5	35.0	40.3	35.2	73.5	
1991	25.5	45.8	50.5	36.0	40.2	6.3	0.0	0.0	22.4	30.2	30.5	35.8	50.5	
1992	30.7	24.2	32.3	37.5	16.4	21.9	0.0	15.5	36.4	15.4	15.4	20.4	37.5	
1993	14.5	25.2	22.4	35.2	13.4	35.9	0.0	18.4	19.4	22.4	40.1	32.2	40.1	
1994	22.4	22.5	30.2	32.8	33.3	10.4	0.0	12.4	23.8	28.6	18.0	23.8	33.3	
1995	15.0	37.8	30.8	17.3	22.7	8.2	12.5	12.2	10.2	11.2	12.8	40.2	40.2	
1996	31.4	65.0	32.7	39.7	15.3	16.6	0.0	8.8	14.2	38.2	25.2	13.6	65.0	
1997	40.4	32.6	31.2	30.4	17.4	6.6	28.4	5.1	15.6	28.7	41.7	61.2	61.2	
1998	22.4	53.7	25.4	33.9	16.4	0.0	0.0	14.8	16.4	37.3	55.2	16.2	55.2	
1999	52.6	60.3	47.5	28.0	29.5	8.0	13.4	3.2	63.5	14.9	26.4	22.6	63.5	
2000	22.2	33.5	30.1	44.7	32.0	7.2	1.4	5.7	17.1	8.0	11.3	36.5	44.7	

Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Granja Porcón

2001	40.6	53.3	59.8	18.5	13.6	4.9	5.0	0.4	24.3	52.0	48.3	33.3	59.8
2002	36.5	38.3	39.8	20.0	10.8	16.0	11.7	2.6	15.1	40.3	23.4	32.7	40.3
2003	21.1	45.0	14.3	23.0	15.9	14.2	22.9	7.2	12.2	14.7	28.6	27.4	45.0
2004	23.4	29.2	37.7	29.0	14.8	5.1	13.4	10.9	20.0	21.6	31.3	44.6	44.6
2005	21.8	44.8	51.1	15.4	36.6	30.3	0.0	5.7	20.5	23.0	8.0	28.9	51.1
2006	22.0	26.8	42.1	47.3	21.1	13.9	2.5	6.9	27.8	10.2	44.4	26.2	47.3
2007	29.8	13.3	46.4	40.3	27.4	0.8	14.9	12.1	13.0	28.2	34.3	30.0	46.4
2008	36.6	39.5	46.0	24.0	16.5	29.0	5.5	4.6	31.1	23.8	20.1	20.9	46.0
2009	36.7	20.3	47.3	21.4	32.7	15.0	4.5	3.0	11.1	31.4	36.3	45.0	47.3
2010	17.9	52.3	31.0	52.8	24.4	17.2	15.9	33.3	5.9	32.4	26.0	31.7	52.8
2011	88.6	24.2	42.4	30.2	4.6	3.7	4.9	2.9	30.9	28.3	14.2	32.4	88.6
2012	34.3	46.0	21.6	34.0	17.2	18.8	0.0	23.4	17.4	18.7	32.7	21.0	46.0
2013	21.6	57.3	53.7	34.1	28.7	17.5	15.7	9.0	15.6	31.6	19.2	55.6	57.3
2014	27.3	27.0	46.0	15.9	13.2	2.4	6.6	9.1	17.8	20.2	26.0	20.8	46.0
2015	34.0	58.7	29.3	25.5	31.0	2.4	6.3	0.4	7.7	16.5	21.2	25.9	58.7
2016	22.0	24.9	32.5	34.5	13.2	25.1	0.7	0.0	15.5	44.1	22.9	27.5	44.1
2017	24.0	46.2	30.2	25.9	17.0	16.9	1.2	9.3	13.7	29.8	13.4	42.8	46.2
2018	65.0	27.7	24.7	34.3	22.9	5.7	0.0	1.5	19.1	34.9	27.3	27.2	65.0
2019	26.2	23.1	64.1	23.4	14.9	3.4	5.5	0.0	10.9	24.9	40.8	46.3	64.1
2020	16.9	38.6	34.7	15.0	8.5	11.9	13.3	14.4	5.8	28.4	20.7	59.9	59.9
2021	30.1	39.3	56.1	27.5	16.1	10.6	2.0	8.6	19.7	20.4	30.2	40.5	56.1
2022	30.0	38.3	28.2	26.5	11.2	20.1	4.8	13.1	15.4	16.6	7.3	25.0	38.3
2023	36.8	64.6	30.9	30.4	13.5	7.5	1.8	16.1	3.5	22.8	40.6	31.4	64.6
Prom.	28.3	34.9	33.3	27.1	17.6	10.2	6.6	8.3	17.3	22.9	27.9	28.2	50.5
Desv.Est.	14.2	15.8	14.5	9.8	9.4	8.8	8.0	6.9	13.0	10.5	15.8	12.6	14.6
Máximo	88.6	85.0	77.0	52.8	44.6	35.9	28.4	33.3	73.5	52.0	85.7	61.2	88.6
Mínimo	7.3	10.0	5.4	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.8	0.0	25.0

Nota. Fuente: SENAMHI y ANA

Anexo 2: Levantamiento topográfico

Tabla 35

Puntos del levantamiento topográfico

PUNTO	ESTE	NORTE	СОТА	DESCRIPCIÓN
1	781128.50	9211411.76	2726.54	BORDE DE RÍO
2	781129.91	9211411.88	2725.82	BORDE DE RÍO
3	781136.86	9211412.46	2724.79	EJE DE RÍO
4	781136.89	9211412.46	2724.87	PENDIENTE DE RÍO
5	781141.60	9211412.86	2724.80	THALWEG
6	781143.82	9211413.04	2725.16	BORDE DE RÍO
7	781145.27	9211413.16	2726.26	BORDE DE RÍO
8	781127.60	9211417.97	2726.67	BORDE LIBRE DE RÍO
9	781129.65	9211417.91	2726.39	BORDE DE RÍO

10	781130.04	9211417.95	2725.70	BORDE DE RÍO
11	781136.22	9211418.64	2724.91	PENDIENTE DE RÍO
12	781136.06	9211418.62	2724.79	EJE DE RÍO
13	781140.35	9211419.10	2724.61	THALWEG
14	781142.07	9211419.29	2724.93	BORDE DE RÍO
15	781142.63	9211419.35	2725.62	BORDE DE RÍO
16	781144.52	9211419.56	2726.58	BORDE DE RÍO
17	781124.22	9211427.68	2727.07	BORDE LIBRE DE RÍO
18	781128.76	9211428.58	2726.64	BORDE DE RÍO
19	781144.84	9211429.92	2726.79	BORDE DE RÍO
20	781143.67	9211429.82	2726.12	BORDE DE RÍO
21	781141.83	9211429.67	2725.62	BORDE DE RÍO
22	781129.83	9211428.67	2725.57	BORDE DE RÍO
23	781129.86	9211428.68	2725.60	BORDE DE RÍO
24	781141.60	9211429.65	2725.16	TALUD DE RÍO
25	781140.87	9211429.59	2724.98	TALUD DE RÍO
26	781140.80	9211429.58	2724.54	BORDE DE RÍO
27	781140.44	9211429.55	2724.47	THALWEG
28	781137.30	9211429.29	2724.91	PENDIENTE DE RÍO
29	781136.77	9211429.25	2724.91	EJE DE RÍO
30	781123.01	9211438.16	2727.35	BORDE LIBRE DE RÍO
31	781127.16	9211438.55	2726.90	BORDE DE RÍO
32	781143.48	9211439.78	2726.37	BORDE DE RÍO
33	781141.53	9211439.63	2725.84	BORDE DE RÍO
34	781141.04	9211439.59	2724.99	BORDE DE RÍO
35	781128.95	9211438.68	2725.60	BORDE DE RÍO
36	781138.33	9211439.39	2724.82	THALWEG
37	781134.99	9211439.14	2724.97	EJE DE RÍO
38	781136.56	9211439.26	2724.86	PENDIENTE DE RÍO
39	781121.96	9211447.61	2727.65	BORDE LIBRE DE RÍO
40	781125.74	9211447.80	2727.50	BORDE DE RÍO
41	781128.01	9211447.89	2725.36	BORDE DE RÍO
42	781132.63	9211448.07	2725.13	PENDIENTE DE RÍO
43	781134.28	9211448.13	2725.01	EJE DE RÍO
44	781135.03	9211448.16	2725.00	THALWEG
45	781140.54	9211448.38	2725.41	BORDE DE RÍO
46	781140.62	9211448.38	2725.93	BORDE DE RÍO
47	781142.99	9211448.47	2727.09	BORDE DE RÍO
48	781119.54	9211457.74	2727.75	BORDE LIBRE DE RÍO
49	781124.63	9211458.63	2727.53	BORDE DE RÍO
50	781140.74	9211460.96	2726.94	BORDE DE RÍO
51	781139.44	9211460.77	2725.70	BORDE DE RÍO
52	781131.26	9211459.59	2725.04	PENDIENTE DE RÍO

53	781129.22	9211459.29	2724.64	THALWEG
54	781132.32	9211459.74	2725.00	EJE DE RÍO
55	781125.21	9211458.71	2726.34	BORDE DE RÍO
56	781139.91	9211472.80	2727.54	BORDE DE RÍO
57	781136.81	9211472.21	2725.89	BORDE DE RÍO
58	781130.00	9211470.90	2725.49	EJE DE RÍO
59	781126.47	9211470.22	2725.21	PENDIENTE DE RÍO
60	781125.02	9211469.94	2725.02	THALWEG
61	781123.20	9211469.59	2725.36	BORDE DE RÍO
62	781121.94	9211469.35	2726.36	TALUD DE RÍO
63	781121.50	9211469.27	2727.87	BORDE DE RÍO
64	781120.15	9211468.79	2727.95	BORDE LIBRE DE RÍO
65	781137.89	9211481.38	2727.52	BORDE DE RÍO
66	781133.44	9211480.64	2725.66	BORDE DE RÍO
67	781126.86	9211479.54	2725.51	EJE DE RÍO
68	781125.11	9211479.25	2725.45	PENDIENTE DE RÍO
69	781122.47	9211478.81	2725.37	THALWEG
70	781120.29	9211478.45	2725.65	BORDE DE RÍO
71	781119.36	9211478.30	2727.91	BORDE DE RÍO
72	781118.08	9211477.97	2728.09	BORDE LIBRE DE RÍO
73	781116.01	9211489.79	2727.73	BORDE DE RÍO
74	781117.33	9211490.17	2727.08	TALUD DE RÍO
75	781118.20	9211490.43	2726.89	TALUD DE RÍO
76	781136.80	9211494.58	2727.60	BORDE DE RÍO
77	781133.45	9211493.85	2726.41	BORDE DE RÍO
78	781119.09	9211490.61	2725.51	BORDE DE RÍO
79	781126.48	9211492.20	2724.62	THALWEG
80	781125.30	9211491.93	2724.82	PENDIENTE DE RÍO
81	781126.27	9211492.23	2724.75	EJE DE RÍO
82	781135.42	9211499.66	2727.94	BORDE DE RÍO
83	781131.52	9211499.26	2726.40	BORDE DE RÍO
84	781126.58	9211498.74	2725.40	THALWEG
85	781124.40	9211498.51	2725.28	THALWEG
86	781123.59	9211498.42	2725.42	PENDIENTE DE RÍO
	781124.48	9211498.52	2725.44	EJE DE RÍO
88	781117.05	9211497.74	2727.02	BORDE DE RÍO
89	781117.45	9211497.78	2726.02	BORDE DE RÍO
90	781133.18	9211502.26	2727.65	BORDE DE RÍO
91	781128.54	9211503.59	2725.88	CAUCE
92	781124.21	9211501.97	2725.18	CAUCE
93	781124.33	9211506.46	2725.54	CAUCE
94	781121.05	9211507.93	2725.63	CAUCE
95	781119.67	9211506.96	2725.39	CAUCE

96	781125.23	9211508.38	2725.80	CAUCE
97	781126.12	9211511.81	2725.69	CAUCE
98	781127.75	9211515.59	2726.08	CAUCE
99	781129.51	9211513.64	2725.87	CAUCE
100	781132.01	9211513.99	2725.80	CAUCE
101	781136.09	9211510.27	2726.77	CAUCE
102	781136.58	9211514.09	2726.67	CAUCE
103	781135.57	9211515.15	2725.76	CAUCE
104	781137.32	9211517.90	2727.28	CAUCE
105	781141.82	9211516.70	2730.57	CAUCE
106	781142.30	9211512.55	2731.13	CAUCE
107	781135.53	9211503.66	2729.21	CAUCE
108	781132.15	9211503.27	2727.66	CAUCE
109	781134.17	9211507.69	2727.97	CAUCE
110	781136.11	9211510.61	2728.51	CAUCE
111	781137.45	9211515.16	2728.79	CAUCE
112	781136.74	9211518.21	2728.69	CAUCE
113	781134.87	9211519.24	2728.35	CAUCE
114	781120.52	9211510.36	2725.85	CAUCE
115	781119.49	9211515.69	2725.97	CAUCE
116	781122.30	9211517.22	2726.14	CAUCE
117	781126.24	9211517.34	2726.32	CAUCE
118	781113.32	9211490.77	2727.84	CAUCE
119	781133.83	9211518.79	2726.49	CAUCE
120	781110.18	9211509.76	2726.18	CAUCE
121	781104.31	9211505.37	2729.60	CAUCE
122	781107.88	9211507.60	2727.98	CAUCE
123	781102.90	9211506.60	2730.21	CAUCE
124	781103.43	9211507.17	2727.32	CAUCE
125	781101.25	9211508.05	2730.27	CAUCE
126	781104.19	9211511.53	2726.41	CAUCE
127	781100.00	9211513.29	2730.26	CAUCE
128	781101.51	9211511.83	2727.57	CAUCE
129	781100.08	9211514.34	2730.36	CAUCE
130	781103.15	9211515.16	2727.13	CAUCE
131	781095.49	9211526.77	2731.36	CANAL
132	781095.49	9211526.77	2730.97	CANAL
133	781095.47	9211528.20	2730.99	CANAL
134	781095.51	9211528.71	2731.79	CANAL
135	781105.24	9211527.39	2731.38	RIEL SOBRE EL BARRAGE
136	781105.39	9211527.40	2730.73	CANAL
137	781105.32	9211528.62	2730.68	CANAL
138	781105.29	9211529.00	2731.43	CANAL

139	781108.10	9211528.62	2730.70	CANAL
140	781108.12	9211528.89	2731.20	CANAL
141	781109.34	9211529.89	2731.48	CANAL
142	781110.13	9211529.07	2730.68	CANAL
143	781110.16	9211527.71	2730.67	CANAL
144	781118.18	9211528.22	2731.17	RIEL SOBRE EL BARRAGE
145	781120.92	9211528.40	2731.15	RIEL SOBRE EL BARRAGE
146	781123.55	9211528.57	2731.19	RIEL SOBRE EL BARRAGE
147	781126.02	9211528.72	2731.19	RIEL SOBRE EL BARRAGE
148	781128.39	9211528.88	2731.18	RIEL SOBRE EL BARRAGE
149	781140.69	9211517.99	2730.03	MURO DE PROTECCIÓN
150	781140.77	9211518.12	2730.84	MURO DE PROTECCIÓN
151	781141.90	9211518.68	2731.09	MURO DE PROTECCIÓN
152	781140.89	9211520.28	2731.35	MURO DE PROTECCIÓN
153	781139.67	9211519.93	2730.84	MURO DE PROTECCIÓN
154	781140.40	9211527.70	2731.17	MURO DE PROTECCIÓN
155	781142.77	9211538.73	2731.77	MURO DE PROTECCIÓN
156	781139.92	9211529.17	2731.51	MURO DE PROTECCIÓN
157	781141.65	9211539.26	2732.06	MURO DE PROTECCIÓN
158	781153.17	9211549.03	2731.97	MURO DE PROTECCIÓN
159	781153.89	9211548.18	2731.89	MURO DE PROTECCIÓN
160	781145.46	9211544.94	2732.47	CAUCE
161	781133.87	9211546.02	2732.18	CAUCE
162	781147.98	9211549.89	2732.87	CAUCE
163	781145.84	9211551.00	2732.09	CAUCE
164	781136.24	9211564.70	2732.35	CAUCE
165	781149.03	9211555.21	2732.78	CAUCE
166	781143.56	9211574.84	2732.53	CAUCE
167	781147.74	9211557.70	2732.20	CAUCE
168	781149.56	9211581.89	2732.52	CAUCE
169	781155.19	9211564.55	2733.42	CAUCE
170	781152.87	9211568.10	2732.39	CAUCE
171	781157.97	9211577.81	2732.46	CAUCE
172	781161.11	9211575.73	2733.24	CAUCE
173	781160.29	9211584.07	2732.65	CAUCE
174	781163.86	9211579.78	2733.28	CAUCE
175	781161.65	9211586.26	2733.40	CAUCE
176	781155.78	9211590.06	2732.46	CAUCE
177	781133.14	9211529.25	2731.32	SEDIMENTO
178	781131.08	9211529.11	2730.91	SEDIMENTO
179	781120.90	9211528.51	2730.90	SEDIMENTO
180	781141.90	9211578.50	2730.81	CALICATA 01
181	781110.73	9211527.82	2730.66	VENTANA-CAPTACIÓN

182	781110.83	9211529.71	2730.69	CAUCE
183	781110.16	9211530.84	2731.61	BORDE DE RÍO
184	781111.23	9211532.29	2731.65	BORDE DE RÍO
185	781112.66	9211531.90	2730.46	CAUCE
186	781132.29	9211530.65	2731.56	BORDE DE RÍO
187	781131.83	9211530.56	2731.17	CAUCE
188	781130.12	9211532.95	2731.05	CAUCE
189	781130.15	9211533.02	2731.55	BORDE DE RÍO
190	781129.26	9211537.13	2730.89	CAUCE
191	781129.67	9211536.96	2731.69	BORDE DE RÍO
192	781112.41	9211534.70	2731.71	BORDE DE RÍO
193	781113.54	9211534.32	2730.28	CAUCE
194	781129.18	9211542.05	2730.88	CAUCE
195	781129.48	9211542.03	2731.69	BORDE DE RÍO
196	781113.34	9211527.91	2731.24	CAUCE
197	781131.61	9211529.14	2731.25	CAUCE
198	781129.19	9211550.60	2730.69	CAUCE
199	781129.40	9211550.57	2731.48	BORDE DE RÍO
200	781131.31	9211550.28	2732.12	BORDE DE RÍO
201	781129.05	9211557.84	2730.43	CAUCE
202	781130.35	9211557.61	2732.01	BORDE DE RÍO
203	781130.35	9211564.65	2730.88	BORDE DE RÍO
204	781129.40	9211564.87	2730.88	CAUCE
205	781131.41	9211564.42	2732.00	BORDE DE RÍO
206	781119.49	9211532.10	2730.66	SEDIMENTO
207	781120.84	9211540.42	2730.30	SEDIMENTO
208	781113.34	9211542.00	2731.72	BORDE DE RÍO
209	781114.78	9211541.60	2730.55	BORDE DE RÍO
210	781114.40	9211546.92	2731.83	BORDE DE RÍO
211	781115.78	9211546.15	2730.12	CAUCE
212	781124.62	9211540.08	2730.71	SEDIMENTO
213	781115.75	9211552.59	2731.86	BORDE DE RÍO
214	781116.39	9211552.49	2729.82	CAUCE
215	781122.88	9211549.18	2730.18	SEDIMENTO
216	781115.93	9211560.24	2731.72	BORDE DE RÍO
217	781123.88	9211554.98	2730.02	SEDIMENTO
218	781125.68	9211558.46	2730.01	SEDIMENTO
219	781116.73	9211560.09	2731.22	CAUCE
220	781129.15	9211557.82	2731.23	CAUCE
221	781117.21	9211560.00	2729.99	CAUCE
222	781117.77	9211567.49	2731.75	BORDE DE RÍO
223	781118.33	9211567.36	2729.07	CAUCE
224	781134.72	9211570.86	2730.94	CAUCE

225	781136.24	9211569.99	2733.03	BORDE DE RÍO
226	781141.14	9211578.96	2731.34	CAUCE
227	781139.68	9211579.87	2731.53	SEDIMENTO
228	781138.47	9211580.61	2731.20	CAUCE
229	781123.20	9211581.48	2730.12	SEDIMENTO
230	781127.63	9211579.73	2730.46	SEDIMENTO
231	781132.09	9211577.97	2730.43	SEDIMENTO
232	781116.90	9211581.03	2732.06	BORDE DE RÍO
233	781140.49	9211574.66	2733.25	BORDE DE RÍO
234	781118.75	9211579.98	2730.14	CAUCE
235	781117.26	9211583.82	2731.97	BORDE DE RÍO
236	781117.45	9211583.75	2731.08	CAUCE
237	781131.50	9211584.89	2730.00	PENDIENTE DE RÍO
238	781134.73	9211582.90	2730.37	SEDIMENTO
239	781123.24	9211589.96	2732.60	BORDE DE RÍO
240	781125.71	9211588.45	2730.78	CAUCE
241	781125.24	9211588.74	2731.23	CAUCE
242	781128.78	9211594.62	2732.48	BORDE DE RÍO
243	781130.12	9211593.70	2731.24	CAUCE
244	781130.59	9211593.37	2730.62	CAUCE
245	781135.51	9211589.98	2729.90	PENDIENTE DE RÍO
246	781137.87	9211588.36	2730.36	SEDIMENTO
247	781140.61	9211586.47	2731.25	CAUCE
248	781142.90	9211584.89	2731.59	SEDIMENTO
249	781144.87	9211587.58	2731.55	CALICATA 02
250	781145.94	9211582.80	2731.65	CAUCE
251	781147.30	9211581.86	2732.96	BORDE DE RÍO
252	781134.49	9211601.77	2732.59	BORDE DE RÍO
253	781152.76	9211588.48	2732.88	BORDE DE RÍO
254	781135.84	9211600.79	2731.22	CAUCE
255	781136.22	9211600.52	2730.72	CAUCE
256	781150.63	9211590.03	2731.46	CAUCE
257	781146.64	9211592.93	2731.43	SEDIMENTO
258	781146.01	9211593.39	2731.24	CAUCE
259	781138.45	9211598.89	2730.13	CAUCE
260	781141.67	9211596.55	2730.19	PENDIENTE DE RÍO
261	781138.64	9211606.92	2731.70	BORDE DE RÍO
262	781138.76	9211606.57	2730.80	CAUCE
263	781157.33	9211593.11	2732.38	BORDE DE RÍO
264	781142.96	9211609.90	2732.14	BORDE DE RÍO
265	781143.22	9211609.60	2730.59	CAUCE
266	781155.68	9211595.04	2731.49	CAUCE
267	781153.88	9211597.14	2731.63	SEDIMENTO

268	781153.95	9211602.58	2731.64	CALICATA 03
269	781152.48	9211598.78	2731.23	CAUCE
270	781155.78	9211615.52	2732.19	BORDE DE RÍO
271	781149.45	9211602.32	2730.19	PENDIENTE DE RÍO
272	781156.00	9211615.09	2731.23	CAUCE
273	781159.38	9211608.47	2730.25	EJE DE RÍO
274	781158.05	9211611.09	2730.13	THALWEG
275	781114.03	9211528.30	2731.59	CALICATA 04
276	781164.80	9211597.87	2733.14	BORDE DE RÍO
277	781164.05	9211599.34	2732.06	TALUD DE RÍO DE RÍO
278	781162.93	9211601.53	2731.60	TALUD DE RÍO DE RÍO
279	781162.76	9211601.85	2731.25	CAUCE
280	781159.76	9211607.73	2730.37	PENDIENTE DE RÍO
281	781163.48	9211618.69	2732.53	BORDE DE RÍO
282	781163.80	9211617.73	2731.24	CAUCE
283	781163.91	9211617.40	2730.77	CAUCE
284	781165.56	9211612.42	2730.48	THALWEG
285	781166.36	9211609.98	2730.56	PENDIENTE DE RÍO
286	781165.95	9211611.23	2730.54	EJE DE RÍO
287	781167.21	9211607.41	2730.92	CAUCE
288	781169.39	9211600.84	2733.22	BORDE DE RÍO
289	781168.57	9211603.31	2731.80	TALUD DE RÍO
290	781168.10	9211604.74	2731.22	CAUCE
291	781178.28	9211603.12	2733.18	BORDE DE RÍO
292	781177.51	9211605.21	2731.87	TALUD DE RÍO
293	781177.29	9211605.80	2731.23	CAUCE
294	781171.29	9211621.91	2732.81	BORDE DE RÍO
295	781172.05	9211619.88	2731.85	TALUD DE RÍO
296	781172.25	9211619.34	2731.22	CAUCE
297	781172.65	9211618.26	2730.72	CAUCE
298	781173.63	9211615.63	2730.59	THALWEG
299	781174.77	9211612.57	2730.64	EJE DE RÍO
300	781174.45	9211613.42	2730.59	PENDIENTE DE RÍO
301	781188.26	9211612.81	2730.60	EJE DE RÍO
302	781188.29	9211613.75	2730.63	PENDIENTE DE RÍO
303	781188.17	9211610.40	2730.58	THALWEG
304	781188.04	9211606.91	2730.98	CAUCE
305	781188.46	9211618.29	2730.78	CAUCE
306	781188.05	9211607.17	2731.13	CAUCE
307	781188.48	9211618.99	2731.22	CAUCE
308	781188.51	9211619.71	2731.83	TALUD DE RÍO
309	781188.03	9211606.63	2731.73	TALUD DE RÍO
310	781187.93	9211603.83	2732.93	BORDE DE RÍO

311	781188.64	9211623.09	2733.20	BORDE DE RÍO
312	781198.85	9211622.19	2733.05	BORDE DE RÍO
313	781197.23	9211604.26	2732.89	BORDE DE RÍO
314	781197.44	9211606.63	2731.63	TALUD DE RÍO
315	781198.57	9211619.14	2731.83	TALUD DE RÍO
316	781198.53	9211618.63	2731.21	CAUCE
317	781198.49	9211618.22	2731.01	CAUCE
318	781197.47	9211606.95	2730.60	CAUCE
319	781197.46	9211606.87	2731.23	CAUCE
320	781198.31	9211616.21	2730.71	CAUCE
321	781197.72	9211609.69	2730.50	THALWEG
322	781197.99	9211612.75	2730.59	EJE DE RÍO
323	781198.05	9211613.41	2730.66	PENDIENTE DE RÍO
324	781205.76	9211612.11	2730.71	EJE DE RÍO
325	781205.80	9211612.66	2730.68	PENDIENTE DE RÍO
326	781205.88	9211613.71	2730.63	THALWEG
327	781205.55	9211608.97	2730.70	CAUCE
328	781206.12	9211617.18	2730.64	CAUCE
329	781206.21	9211618.44	2731.22	CAUCE
330	781205.33	9211605.81	2730.93	CAUCE
331	781205.32	9211605.78	2731.22	CAUCE
332	781205.31	9211605.52	2731.75	TALUD DE RÍO
333	781206.25	9211619.13	2731.87	TALUD DE RÍO
334	781206.50	9211622.65	2733.43	BORDE DE RÍO
335	781205.12	9211602.83	2733.10	BORDE DE RÍO
336	781216.86	9211599.95	2733.37	BORDE DE RÍO
337	781217.50	9211623.03	2733.30	BORDE DE RÍO
338	781217.43	9211619.57	2731.67	TALUD DE RÍO
339	781216.95	9211603.43	2731.94	TALUD DE RÍO
340	781217.38	9211618.67	2731.18	CAUCE
341	781216.97	9211603.79	2731.24	CAUCE
342	781217.29	9211615.47	2730.66	THALWEG
343	781217.22	9211613.00	2730.70	PENDIENTE DE RÍO
344	781217.20	9211612.33	2730.75	EJE DE RÍO
345	781217.03	9211605.98	2731.22	CAUCE
346	781228.84	9211622.41	2733.00	BORDE DE RÍO
347	781228.82	9211619.53	2731.72	TALUD DE RÍO
348	781228.82	9211619.42	2731.23	CAUCE
349	781228.81	9211619.33	2731.08	CAUCE
350	781228.78	9211615.92	2730.81	CAUCE
351	781228.76	9211613.08	2730.73	PENDIENTE DE RÍO
352	781228.75	9211612.35	2730.51	EJE DE RÍO
353	781228.71	9211607.93	2730.40	THALWEG

354	781228.69	9211605.76	2730.69	CAUCE
355	781228.68	9211605.29	2731.20	CAUCE
356	781228.67	9211604.29	2732.06	BORDE DE RÍO
357	781238.52	9211622.44	2732.85	BORDE DE RÍO
358	781238.16	9211617.43	2731.19	CAUCE
359	781237.26	9211605.05	2732.03	BORDE DE RÍO
360	781237.93	9211614.32	2730.75	CAUCE
361	781237.35	9211606.26	2730.78	CAUCE
362	781237.74	9211611.69	2730.44	EJE DE RÍO
363	781237.33	9211605.96	2731.25	CAUCE
364	781237.55	9211609.01	2730.23	THALWEG
365	781237.79	9211612.32	2730.77	PENDIENTE DE RÍO
366	781247.21	9211604.04	2732.44	BORDE DE RÍO
367	781249.59	9211622.47	2732.89	BORDE DE RÍO
368	781249.15	9211619.04	2731.77	TALUD DE RÍO
369	781247.26	9211604.41	2730.66	CAUCE
370	781247.25	9211604.35	2731.22	CAUCE
371	781248.71	9211615.62	2731.22	CAUCE
372	781248.36	9211612.88	2730.73	CAUCE
373	781255.33	9211604.98	2731.24	CAUCE
374	781256.64	9211616.20	2731.20	CAUCE
375	781265.54	9211616.71	2731.23	CAUCE
376	781265.07	9211608.18	2731.23	CAUCE
377	781271.88	9211617.95	2731.16	CAUCE
378	781272.18	9211609.59	2731.31	CAUCE
379	781095.42	9211519.93	2730.44	ESTRUCTURA
380	781095.63	9211524.27	2730.61	ESTRUCTURA
381	781101.61	9211520.00	2729.37	ESTRUCTURA
382	781095.45	9211526.19	2731.33	ESTRUCTURA
383	781113.30	9211520.67	2729.39	ESTRUCTURA
384	781110.09	9211527.64	2731.36	ESTRUCTURA
385	781110.14	9211527.15	2731.35	ESTRUCTURA
386	781110.12	9211525.09	2729.77	ESTRUCTURA
387	781110.12	9211525.15	2730.59	ESTRUCTURA
388	781102.52	9211519.62	2728.88	ESTRUCTURA
389	781102.03	9211524.60	2729.78	ESTRUCTURA
390	781102.50	9211519.86	2729.35	ESTRUCTURA
391	781102.02	9211524.65	2730.50	ESTRUCTURA
392	781102.97	9211515.66	2728.87	ESTRUCTURA
393	781105.09	9211516.00	2728.83	ESTRUCTURA
394	781104.92	9211517.63	2728.82	ESTRUCTURA
395	781112.47	9211521.91	2730.33	ESTRUCTURA
396	781113.67	9211517.56	2728.79	ESTRUCTURA

397	781113.37	9211520.60	2729.02	ESTRUCTURA
398	781115.24	9211516.87	2728.49	ESTRUCTURA
399	781115.29	9211520.91	2728.64	ESTRUCTURA
400	781113.78	9211519.40	2729.20	ESTRUCTURA
401	781116.53	9211522.40	2728.69	ESTRUCTURA
402	781115.19	9211520.84	2729.13	ESTRUCTURA
403	781116.60	9211522.54	2729.60	ESTRUCTURA
404	781112.58	9211522.71	2730.59	ESTRUCTURA
405	781112.84	9211525.92	2730.71	ESTRUCTURA
406	781111.85	9211527.76	2731.28	ESTRUCTURA
407	781111.87	9211527.23	2731.26	ESTRUCTURA
408	781114.71	9211527.90	2731.23	ESTRUCTURA
409	781114.83	9211527.47	2731.23	ESTRUCTURA
410	781114.89	9211528.09	2730.30	ESTRUCTURA
411	781115.22	9211527.98	2731.06	ESTRUCTURA
412	781115.11	9211527.94	2731.22	ESTRUCTURA
413	781115.25	9211527.04	2731.09	ESTRUCTURA
414	781119.30	9211528.24	2731.15	ESTRUCTURA
415	781119.44	9211527.38	2731.08	ESTRUCTURA
416	781119.58	9211525.72	2729.79	ESTRUCTURA
417	781119.63	9211525.84	2730.50	ESTRUCTURA
418	781119.95	9211526.33	2730.52	ESTRUCTURA
419	781120.02	9211526.34	2730.68	ESTRUCTURA
420	781120.87	9211527.45	2731.12	ESTRUCTURA
421	781126.03	9211527.72	2731.14	ESTRUCTURA
422	781128.49	9211527.88	2731.14	ESTRUCTURA
423	781127.33	9211526.30	2729.76	ESTRUCTURA
424	781127.34	9211526.42	2730.51	ESTRUCTURA
425	781128.73	9211526.99	2730.61	ESTRUCTURA
426	781128.87	9211526.82	2729.90	ESTRUCTURA
427	781131.04	9211529.05	2731.19	ESTRUCTURA
428	781131.33	9211527.25	2730.78	ESTRUCTURA
429	781131.12	9211528.05	2731.12	ESTRUCTURA
430	781131.44	9211527.08	2729.85	ESTRUCTURA
431	781131.06	9211529.05	2731.40	ESTRUCTURA
432	781131.12	9211528.49	2731.37	ESTRUCTURA
433	781131.21	9211523.55	2729.48	ESTRUCTURA
434	781131.15	9211523.46	2728.84	ESTRUCTURA
435	781131.29	9211521.88	2728.76	ESTRUCTURA
436	781131.38	9211521.94	2729.43	ESTRUCTURA
437	781132.24	9211519.61	2728.73	ESTRUCTURA
438	781132.04	9211521.69	2728.84	ESTRUCTURA
439	781132.07	9211521.81	2729.45	ESTRUCTURA

440	781137.71	9211519.88	2729.78	ESTRUCTURA
441	781132.11	9211527.16	2729.89	ESTRUCTURA
442	781132.18	9211527.27	2730.81	ESTRUCTURA
443	781137.50	9211521.41	2729.85	ESTRUCTURA
444	781137.44	9211521.55	2730.65	ESTRUCTURA
445	781134.16	9211521.75	2729.78	ESTRUCTURA
446	781137.34	9211527.53	2730.90	ESTRUCTURA
447	781134.17	9211527.30	2730.18	ESTRUCTURA
448	781139.55	9211527.76	2730.84	ESTRUCTURA
449	781138.48	9211520.84	2730.79	ESTRUCTURA
450	781138.49	9211520.73	2730.13	ESTRUCTURA
451	781139.34	9211520.67	2730.82	ESTRUCTURA
452	781139.22	9211520.59	2730.16	ESTRUCTURA
453	781139.40	9211519.94	2730.84	ESTRUCTURA
454	781139.37	9211519.99	2730.10	ESTRUCTURA
455	781133.50	9211529.24	2731.45	ESTRUCTURA
456	781119.74	9211525.87	2730.47	ESTRUCTURA

Anexo 3: Plano topográfico, perfil longitudinal y secciones aguas arriba y aguas abajo del río Chonta

Anexo 4: Formato de aforos del río Chonta, mediante correntómetro

Tabla 36

Formato de aforo del río Chonta mediante correntómetro

N° AF	ORO:			28	3		
RÍO:			Chonta				
CUEN	ICA:			Cho	nta		
OBSE	RVACIONES	5:	Día	nublado con pr	esencia de garuga		
HORA	A:			08:00am a	09:00am		
FECH	A:			06/12/	2023		
MÉTO	DDO:			Por V	adeo		
EQUIPOS Y MATERIALES:			Correntón graduada	Correntómetro, cordel, regla graduada, wincha graduada, estacas de fierro, libreta de apuntes.			
INTER	RVALO:		El intervalo	de medición d	e velocidad es cada 1 m		
ANCH	IO DE ESPEJ	O DE AGUA:		12.5	m		
SECC	IÓN:			01			
N°	Y(m)	60%Y	V a 60%Y (m/s)	Área (m2)	Caudal Parcial (m3/s)		
1	0.29	0.17	0.72	0.24	0.17		
2	0.38	0.23	0.63	0.36	0.23		
3	0.46	0.28	0.83	0.42	0.35		
4	0.45	0.27	0.46	0.40	0.18		
5	0.41	0.25	0.75	0.37	0.27		
6	0.44	0.26	0.55	0.40	0.22		
7	0.29	0.17	0.99	0.29	0.29		
8	0.19	0.11	0.75	0.23	0.17		
9	0.26	0.16	0.81	0.25	0.20		
10	0.23	0.14	0.68	0.23	0.15		
11	0.24	0.14	0.41	0.24	0.10		
12	0.27	0.16	0.37	0.26	0.10		
13	0.14	0.08	0.17	0.07	0.01		
	CA	UDAL TOTAL	L (m3 /s) =		2.44		

Anexo 5: Planos de los diseños del barrage fijo-fusible, la poza disipadora de fondo no horizontal y la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. (Prototipo y modelo).

Anexo 6: Profundidades desde la regla transversal hasta el fondo del río Chonta sin sedimento y profundidades de los sedimentos del río Chonta a escala 1/20 en los ejes transversales antes de la descolmatación.

Profundidades desde la regla transversal hasta el fondo del río Chonta sin sedimentos a escala 1/20

Ej	e N°1	Ej	e N°2	Ej	Eje N°3		Eje N°4	
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.141	1	0.151	1	0.144		1	0.149
2	0.141	2	0.151	2	0.144		2	0.149
3	0.141	3	0.151	3	0.145		3	0.149
4	0.141	4	0.151	4	0.148		4	0.149
5	0.141	5	0.151	5	0.149		5	0.150
6	0.141	6	0.151	6	0.150		6	0.151
7	0.141	7	0.151	7	0.150		7	0.152
8	0.141	8	0.151	8	0.076		8	0.084
Ej	e N°5	Ej	e N°6	Ej	e Nº7		Ej	e N°8
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.149	1	0.154	1	0.151		1	0.149
2	0.149	2	0.154	2	0.151		2	0.149
3	0.149	3	0.154	3	0.151		3	0.149
4	0.149	4	0.154	4	0.151		4	0.149
5	0.149	5	0.154	5	0.151		5	0.149
6	0.149	6	0.154	6	0.151		6	0.149
7	0.149	7	0.154	7	0.151		7	0.149
8	0.080	8	0.110	8	0.151		8	0.149
E	a NºO		Nº10		- Nº11			
Dunto	$\frac{\text{Drof}(m)}{\text{Drof}(m)}$	Dunto	$\frac{2 \ln 10}{\Pr of (m)}$	Dunto	$\frac{\mathbf{D}\mathbf{rof}}{\mathbf{D}\mathbf{rof}}$			
<u>r unto</u>	0.150	1 1	0.145	<u>r unio</u> 1	0.141			
1	0.150	1	0.145	1	0.141			
2	0.150	2	0.145	2	0.141			
5	0.150	5	0.145	3	0.141			
4	0.150	4	0.145	4	0.141			
5	0.150	5	0.145	5	0.141			
0	0.150	0	0.145	6	0.141			
/	0.150	/	0.145	/	0.141			
8	0.150	8	0.145	8	0.141			
		9	0.069	9	0.117			

Profundidades de los sedimentos del río Chonta a escala 1/20 en los ejes transversales antes de la descolmatación

EJ	EJE N°1 EJE N°2		EJE N°3		EJE N°4				
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.062	1	0.078		1	0.067		1	0.086
2	0.063	2	0.063		2	0.060		2	0.065
3	0.061	3	0.074		3	0.067		3	0.079
4	0.043	4	0.026		4	0.070		4	0.068
5	0.037	5	0.030		5	0.035		5	0.022
6	0.036	6	0.034		6	0.020		6	0.010
7	0.036	7	0.022		7	0.014		7	0.008
8	0.021	8	0.036		8	0.000		8	0.000
	E Nº5	EI	E Nº6			E N107			E N100
Dunto	$\frac{\text{E N J}}{\text{Prof}(m)}$	<u> </u>	$\frac{\text{EIN 0}}{\text{Prof}(m)}$		Dunto	$\frac{\text{EIN } /}{\text{Prof} (m)}$		Dunto	$\frac{\text{E N o}}{\text{Prof}(m)}$
<u>r unito</u>	0.009	<u>r unito</u> 1	0.102		1 r unito	0.002		1 r unito	0.000
1	0.098	1	0.103		1	0.093		1	0.067
2	0.082	2	0.081		2	0.073		2	0.007
3	0.005	5	0.075		5	0.008		5	0.071
4	0.095	4	0.087		4	0.074		4	0.092
5	0.022	5	0.024		5	0.048		5	0.029
0	0.003	07	0.002		07	0.007		07	0.000
/ 0	0.002	/ 0	0.001		/ 0	0.002		/ 0	0.002
0	0.000	0	0.000		0	0.003		0	0.002
EJ	E N°9	EJI	E N°10		EJE N°11				
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)			
1	0.088	1	0.090		1	0.098			
2	0.080	2	0.073		2	0.088			
3	0.089	3	0.098		3	0.080			
4	0.117	4	0.039		4	0.040			
5	0.029	5	0.022		5	0.018			
6	0.016	6	0.005		6	0.004			
7	0.001	7	0.003		7	0.003			
8	0.002	8	0.000		8	0.000			
		9	0.000		9	0.000			

Anexo 7: Tirantes de agua, aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey a escala 1/20, y tirantes de agua a la salida de las pozas disipadoras de energía.

Tirantes de agua, aguas arriba de la captación Cristo Rey a escala 1/20 en condiciones de captación colmatada

Q = 0.	.94	L/s
--------	-----	-----

Eje 1 (m)		Eje 2	2 (m)	Eje 3 (m)		
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000	
Y2 =	0.008	Y5 =	0.000	Y8 =	0.009	
Y3 =	0.016	Y6 =	0.048	Y9 =	0.041	

Q	= 2	2.1	5]	L/s
---	-----	-----	-----	-----

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.014	Y5 =	0.006	Y8 =	0.017
Y3 =	0.024	Y6 =	0.056	Y9 =	0.049

Q = 3.35 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.017	Y5 =	0.009	Y8 =	0.021
Y3 =	0.027	Y6 =	0.060	Y9 =	0.053

Q = 5.59 L/s	\$
--------------	----

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.020	Y5 =	0.013	Y8 =	0.026
Y3 =	0.031	Y6 =	0.064	Y9 =	0.058

Q = 7.30 L/s

<u> </u>					
Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.022	Y5 =	0.015	Y8 =	0.026
Y3 =	0.033	Y6 =	0.067	Y9 =	0.058

Q = 10.06 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.025	Y5 =	0.019	Y8 =	0.031
Y3 =	0.036	Y6 =	0.070	Y9 =	0.064

Q = 1.50 L/s								
Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)				
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000			
Y2 =	0.012	Y5 =	0.004	Y8 =	0.016			
Y3 =	0.022	Y6 =	0.056	Y9 =	0.047			

Q = 2.5	53 L/s				
Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.016	Y5 =	0.007	Y8 =	0.020
Y3 =	0.026	Y6 =	0.058	Y9 =	0.051

Q = 4.47 L/s								
Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)				
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000			
Y2 =	0.019	Y5 =	0.009	Y8 =	0.022			
Y3 =	0.028	Y6 =	0.060	Y9 =	0.053			

Q = 7.25 L/s								
Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)				
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000			
Y2 =	0.022	Y5 =	0.012	Y8 =	0.025			
Y3 =	0.030	Y6 =	0.063	Y9 =	0.057			

Q = 8.68 L/s								
Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)				
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000			
Y2 =	0.024	Y5 =	0.021	Y8 =	0.028			
Y3 =	0.035	Y6 =	0.069	Y9 =	0.061			

	Q = 11.18 L/s								
Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)					
	Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000			
	Y2 =	0.026	Y5 =	0.019	Y8 =	0.031			
	Y3 =	0.037	Y6 =	0.071	Y9 =	0.064			

Q = 12.30 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y 1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.026	Y5 =	0.020	Y8 =	0.032
Y3 =	0.037	Y6 =	0.071	Y9 =	0.065

Q = 15.65 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.029	Y5 =	0.022	Y8 =	0.033
Y3 =	0.040	Y6 =	0.074	Y9 =	0.068

Q = 17.89 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)		
	Y1 =	0.004	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
	Y2 =	0.030	Y5 =	0.023	Y8 =	0.037
	Y3 =	0.041	Y6 =	0.075	Y9 =	0.069

Q = 21.24 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.005	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.032	Y5 =	0.026	Y8 =	0.039
Y3 =	0.043	Y6 =	0.077	Y9 =	0.071

Q = 23.48 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.008	Y4 =	0.004	Y7 =	0.000
Y2 =	0.034	Y5 =	0.028	Y8 =	0.042
Y3 =	0.047	Y6 =	0.080	Y9 =	0.075

Q	= 26.83	L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.011	Y4 =	0.007	Y7 =	0.000
Y2 =	0.037	Y5 =	0.031	Y8 =	0.046
Y3 =	0.051	Y6 =	0.084	Y9 =	0.079

Q = 29.07 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.011	Y4 =	0.009	Y7 =	0.000
Y2 =	0.038	Y5 =	0.033	Y8 =	0.048
Y3 =	0.054	Y6 =	0.086	Y9 =	0.081

Q = 13.	.98 L/s				
Eje 1	(m)	Eje 2	2 (m)	Eje 3	3 (m)
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.028	Y5 =	0.020	Y8 =	0.033
Y3 =	0.039	Y6 =	0.072	Y9 =	0.066
Q = 16	.77 L/s				
Eje 1	(m)	Eje 2	2 (m)	Eje 3	3 (m)
Y1 =	0.000	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.029	Y5 =	0.023	Y8 =	0.035
Y3 =	0.040	Y6 =	0.074	Y9 =	0.068
Q = 19	.57 L/s				
Eje 1	(m)	Eje 2	2 (m)	Eje 3	3 (m)
Y1 =	0.005	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.031	Y5 =	0.025	Y8 =	0.038
Y3 =	0.043	Y6 =	0.077	Y9 =	0.071
Q = 22	.36 L/s				
Eje 1	(m)	Eje 2	2 (m)	Eje 3	3 (m)
Y1 =	0.006	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.033	Y5 =	0.027	Y8 =	0.041
Y3 =	0.045	Y6 =	0.079	Y9 =	0.074
Q = 25	.16 L/s				
Eje 1	(m)	Eje 2	2 (m)	Eje 3	3 (m)
Y1 =	0.009	Y4 =	0.005	Y7 =	0.000
Y2 =	0.035	Y5 =	0.029	Y8 =	0.044
Y3 =	0.049	Y6 =	0.082	Y9 =	0.076
Q = 27	.95 L/s				
Eje 1	(m)	Eje 2	2 (m)	Eje 3	3 (m)
 V1	0.011	V1 _	0 000	V7 _	0.000

Eje i	. (III)	Eje ₄	2 (III)	Eje .) (III)
Y1 =	0.011	Y4 =	0.008	Y7 =	0.000
Y2 =	0.038	Y5 =	0.032	Y8 =	0.047
Y3 =	0.053	Y6 =	0.085	Y9 =	0.080
-					

Q = 30	.75 L/s				
Eje 1	(m)	Eje 2	2 (m)	Eje 3	3 (m)
Y1 =	0.012	Y4 =	0.009	Y7 =	0.000
Y2 =	0.040	Y5 =	0.035	Y8 =	0.049
 Y3 =	0.056	Y6 =	0.088	Y9 =	0.082

Q = 32.42 L/s			Q = 33.54 L/s
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1 (m) Eje 2 (m) Eje 3 (m)
Y1 = 0.013	Y4 = 0.010	Y7 = 0.000	Y1 = 0.014 $Y4 = 0.011$ $Y7 = 0.000$
Y2 = 0.041	Y5 = 0.034	Y8 = 0.050	Y2 = 0.042 $Y5 = 0.035$ $Y8 = 0.051$
Y3 = 0.057	Y6 = 0.089	Y9 = 0.083	Y3 = 0.058 $Y6 = 0.089$ $Y9 = 0.084$
Q = 34.66 L/s			Q = 35.94 L/s
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1 (m) Eje 2 (m) Eje 3 (m)
Y1 = 0.015	Y4 = 0.012	Y7 = 0.000	Y1 = 0.016 $Y4 = 0.013$ $Y7 = 0.000$
Y2 = 0.043	Y5 = 0.036	Y8 = 0.052	Y2 = 0.044 $Y5 = 0.037$ $Y8 = 0.053$
Y3 = 0.059	Y6 = 0.090	Y9 = 0.085	Y3 = 0.060 Y6 = 0.091 Y9 = 0.086

Tirantes de agua a escala 1/20 en la salida de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal (a) y poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. (b)

(a)			(b)		
N°	Q(m3/s)	Y(m)	N°	Q(m3/s)	Y(m)
1	0.94	0.005	1	0.94	0.002
2	1.50	0.009	2	1.50	0.003
3	2.15	0.011	3	2.15	0.003
4	2.53	0.012	4	2.53	0.003
5	3.35	0.013	5	3.35	0.004
6	4.47	0.014	6	4.47	0.005
7	5.59	0.017	7	5.59	0.006
8	7.25	0.018	8	7.25	0.006
9	7.30	0.018	9	7.30	0.008
10	8.68	0.022	10	8.68	0.008
11	10.06	0.024	11	10.06	0.009
12	11.18	0.025	12	11.18	0.009
13	12.30	0.025	13	12.30	0.009
14	13.98	0.027	14	13.98	0.009
15	15.65	0.029	15	15.65	0.010
16	16.77	0.030	16	16.77	0.011
17	17.89	0.030	17	17.89	0.012
18	19.57	0.033	18	19.57	0.012
19	21.24	0.034	19	21.24	0.013
20	22.36	0.036	20	22.36	0.013
21	23.48	0.040	21	23.48	0.015
22	25.16	0.043	22	25.16	0.016
23	26.83	0.045	23	26.83	0.020
24	27.95	0.046	24	27.95	0.019

25	29.07	0.047		25	29.07	0.018
26	30.75	0.051		26	30.75	0.023
27	32.42	0.052		27	32.42	0.025
28	33.54	0.053		28	33.54	0.026
29	34.66	0.054		29	34.66	0.026
30	35.94	0.055	-	30	35.94	0.027

Anexo 8: Profundidades de los sedimentos del río Chonta a escala 1/20 en los ejes transversales, después de iniciada la descolmatación.

Profundidades del sedimento después de 46 horas con 58 minutos de iniciada la descolmatación para caudales de 0.94, 1.50, 2.15, 2.53 y 3.35 L/s a escala 1/20

Eje	Eje N°1 Eje N°2		Eje N°3		Eje N°4				
	Prof.								
Punto	(m)	Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.037	1	0.081		1	0.065		1	0.088
2	0.034	2	0.070		2	0.064		2	0.066
3	0.040	3	0.070		3	0.072		3	0.078
4	0.040	4	0.033		4	0.052		4	0.073
5	0.037	5	0.016		5	0.021		5	0.027
6	0.032	6	0.026		6	0.019		6	0.015
7	0.026	7	0.024		7	0.014		7	0.014
8	0.001	8	0.024		8	0.000		8	0.000
Eje									
N°5		Ej	e N°6		Ej	e N°7		Ej	e N°8
	Prof.								
Punto	(m)	Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.097	1	0.099		1	0.095		1	0.089
2	0.081	2	0.078		2	0.073		2	0.069
3	0.084	3	0.076		3	0.071		3	0.071
4	0.095	4	0.086		4	0.079		4	0.093
5	0.027	5	0.029		5	0.047		5	0.036
6	0.005	6	0.013		6	0.011		6	0.010
7	0.000	7	0.002		7	0.002		7	0.001
8	0.003	8	0.000		8	0.001		8	0.003

Eje	N°9		Eje N°10		Eje N°11		
	Prof.						
Punto	(m)		Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.091		1	0.091		1	0.099
2	0.082		2	0.073		2	0.088
3	0.087		3	0.097		3	0.079
4	0.115		4	0.046		4	0.044
5	0.037		5	0.031		5	0.026
6	0.023		6	0.008		6	0.000
7	0.002		7	0.002		7	0.000
8	0.003		8	0.002		8	0.000
		_	9	0.000		9	0.000

Profundidades del sedimento después de 59 horas con 56 minutos de iniciada la descolmatación para caudales de 4.47, 5.59, 7.25, 7.30 y 8.68 L/s a escala 1/20

Eje	N°1	Ej	e N°2	Ej	e N°3	Ej	e N°4
· · · · ·	Prof.	*		¥		•	
Punto	(m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.002	1	0.080	1	0.077	1	0.087
2	0.001	2	0.078	2	0.084	2	0.066
3	0.016	3	0.070	3	0.078	3	0.078
4	0.028	4	0.027	4	0.078	4	0.072
5	0.034	5	0.016	5	0.114	5	0.027
6	0.031	6	0.022	6	0.130	6	0.015
7	0.015	7	0.025	7	0.136	7	0.012
8	0.001	8	0.019	8	0.076	8	0.000
Eje							
N°5		Ej	e N°6	Ej	e N°7	Ej	e N°8
-	Prof.	-		-	-	-	
Punto	(m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.095	1	0.099	1	0.095	1	0.089
2	0.081	2	0.078	2	0.073	2	0.069
3	0.082	3	0.076	3	0.071	3	0.071
4	0.095	4	0.086	4	0.079	4	0.093
5	0.026	5	0.029	5	0.047	5	0.036
6	0.006	6	0.013	6	0.011	6	0.010
7	0.000	7	0.002	7	0.002	7	0.001
8	0.004	8	0.000	8	0.001	8	0.003

Eje	N°9		Eje N°10		Eje N°11		
	Prof.						
Punto	(m)		Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.091		1	0.091		1	0.099
2	0.082		2	0.073		2	0.088
3	0.087		3	0.097		3	0.079
4	0.115		4	0.046		4	0.044
5	0.037		5	0.031		5	0.026
6	0.023		6	0.008		6	0.000
7	0.002		7	0.002		7	0.000
8	0.003		8	0.002		8	0.000
		_	9	0.000		9	0.000

Profundidades del sedimento después de 67 horas con 32 minutos de iniciada la descolmatación para caudales de 10.06, 11.18, 12.30, 13.98 y 15.65 L/s a escala 1/20

Eje	N°1	Ej	e N°2	Ej	e N°3	Ej	e N°4
	Prof.	`		`			
Punto	(m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.003	1	0.080	1	0.144	1	0.087
2	0.014	2	0.079	2	0.144	2	0.066
3	0.023	3	0.043	3	0.145	3	0.078
4	0.010	4	0.031	4	0.148	4	0.072
5	0.033	5	0.025	5	0.149	5	0.027
6	0.040	6	0.020	6	0.150	6	0.016
7	0.012	7	0.017	7	0.150	7	0.007
8	0.001	8	0.018	8	0.076	8	0.000
Eje							
N°5		Ej	e N°6	Ej	e N°7	Ej	e N°8
	Prof.						
Punto	(m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.095	1	0.099	1	0.095	1	0.089
2	0.081	2	0.078	2	0.073	2	0.069
3	0.082	3	0.076	3	0.071	3	0.071
4	0.095	4	0.086	4	0.079	4	0.093
5	0.026	5	0.029	5	0.047	5	0.036
6	0.006	6	0.013	6	0.011	6	0.010
7	0.000	7	0.002	7	0.002	7	0.001
8	0.004	8	0.000	8	0.001	8	0.003

Eje	N°9	-	Eje	e N°10	Eje N°11	
	Prof.	-				
Punto	(m)	-	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.091		1	0.091	1	0.099
2	0.082		2	0.073	2	0.088
3	0.087		3	0.097	3	0.079
4	0.115		4	0.046	4	0.044
5	0.037		5	0.031	5	0.026
6	0.023		6	0.008	6	0.000
7	0.002		7	0.002	7	0.000
8	0.003	_	8	0.002	8	0.000
			9	0.000	9	0.000

Profundidades del sedimento después de 71 horas con 33 minutos de iniciada la descolmatación para caudales de 16.77, 17.89, 19.57, 21.24 y 22.36 L/s a escala 1/20

Ej	e N°1	Eje N°2		Eje N°3		Eje N°4	
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.003	1	0.080	1	0.064	1	0.087
2	0.001	2	0.059	2	0.064	2	0.066
3	0.013	3	0.038	3	0.070	3	0.078
4	0.021	4	0.024	4	0.055	4	0.074
5	0.020	5	0.024	5	0.019	5	0.028
6	0.023	6	0.020	6	0.021	6	0.016
7	0.012	7	0.009	7	0.011	7	0.006
8	0.001	8	0.018	8	0.000	8	0.000
Ej	e N°5	Ej	e N°6	Ej	e N°7	Ej	e N°8
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.095	1	0.099	1	0.095	1	0.089
2	0.081	2	0.078	2	0.073	2	0.069
3	0.082	3	0.076	3	0.071	3	0.071
4	0.095	4	0.086	4	0.079	4	0.093
5	0.026	5	0.027	5	0.050	5	0.036
6	0.006	6	0.013	6	0.012	6	0.010
7	0.000	7	0.002	7	0.002	7	0.001
8	0.004	8	0.000	8	0.005	8	0.003

Ej	Eje N°9		Eje	e N°10	Eje N°11	
Punto	Prof. (m)	Р	Punto Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.091		1	0.091	1	0.099
2	0.082		2	0.073	2	0.088
3	0.087		3	0.097	3	0.079
4	0.115		4	0.046	4	0.046
5	0.035		5	0.031	5	0.028
6	0.024		6	0.009	6	0.001
7	0.002		7	0.001	7	0.001
8	0.003		8	0.001	8	0.000
			9	0.000	 9	0.000

Profundidades del sedimento después de 73 horas con 30 minutos de iniciada la descolmatación para caudales de 23.48, 25.16, 26.83, 27.95 y 29.07 L/s a escala 1/20

Ej	e N°1	Ej	e N°2	Ej	e N°3	Eje N°4	
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.003	1	0.080	1	0.064	1	0.087
2	0.001	2	0.058	2	0.064	2	0.066
3	0.007	3	0.036	3	0.070	3	0.078
4	0.014	4	0.027	4	0.042	4	0.068
5	0.021	5	0.024	5	0.025	5	0.022
6	0.030	6	0.016	6	0.016	6	0.014
7	0.010	7	0.014	7	0.013	7	0.006
8	0.001	8	0.013	8	0.000	8	0.000
Ej	e N°5	Ej	e N°6	Ej	e N°7	Ej	e N°8
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.095	1	0.099	1	0.095	1	0.089
2	0.081	2	0.078	2	0.073	2	0.069
3	0.082	3	0.076	3	0.071	3	0.071
4	0.095	4	0.086	4	0.079	4	0.093
5	0.028	5	0.028	5	0.049	5	0.035
6	0.006	6	0.013	6	0.012	6	0.010
7	0.000	7	0.002	7	0.002	7	0.001
8	0.004	8	0.000	8	0.005	8	0.003

Ej	e N°9	_	Eje	e N°10	Eje	e N°11
Punto	Prof. (m)		Punto Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.091		1	0.091	1	0.099
2	0.082		2	0.073	2	0.088
3	0.087		3	0.097	3	0.079
4	0.115		4	0.047	4	0.046
5	0.039		5	0.035	5	0.028
6	0.023		6	0.010	6	0.000
7	0.002		7	0.001	7	0.001
8	0.003		8	0.001	8	0.000
		_	9	0.000	9	0.000

Profundidades del sedimento después de 74 horas con 44 minutos de iniciada la descolmatación para caudales de 30.75, 32.42, 33.54, 34.66 y 35.94 L/s a escala 1/20

Eje N°1		Eje N°2		Eje N°3		Eje N°4	
Punto	Prof. (m)						
1	0.003	1	0.080	1	0.064	1	0.087
2	0.001	2	0.056	2	0.064	2	0.066
3	0.008	3	0.035	3	0.070	3	0.078
4	0.012	4	0.021	4	0.045	4	0.072
5	0.018	5	0.024	5	0.014	5	0.022
6	0.029	6	0.018	6	0.017	6	0.014
7	0.013	7	0.016	7	0.012	7	0.006
8	0.001	8	0.008	8	0.000	8	0.000
Ej	e N°5	Eje N°6		Ej	e N°7	Ej	e N°8
Punto	Prof. (m)						
1	0.095	1	0.099	1	0.095	1	0.089
2	0.081	2	0.078	2	0.073	2	0.069
3	0.082	3	0.076	3	0.071	3	0.071
4	0.095	4	0.086	4	0.079	4	0.093
5	0.026	5	0.029	5	0.049	5	0.036
6	0.005	6	0.012	6	0.010	6	0.008
7	0.000	7	0.002	7	0.002	7	0.001
8	0.004	8	0.000	8	0.005	8	0.003

Eje N°9			Eje N°10		Eje N°11		
Punto	Prof. (m)	F	ounto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.091		1	0.091		1	0.099
2	0.082		2	0.073		2	0.088
3	0.087		3	0.097		3	0.079
4	0.115		4	0.046		4	0.045
5	0.038		5	0.031		5	0.032
6	0.023		6	0.010		6	0.002
7	0.002		7	0.001		7	0.001
8	0.003		8	0.001		8	0.000
			9	0.000		9	0.000

Anexo 9: Tirantes de agua, aguas arriba del barrage fijo-fusible de la captación descolmatada Cristo Rey a escala 1/20

Tabla 47

Tirantes de agua, aguas arriba del barrage fijo-fusible de la captación descolmatada Cristo Rey a escala 1/20

Q = 0.94 L/s			Q = 1.5	0 L/s		
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1	(m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 = 0.000	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000	Y1 =	0.031	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000
Y2 = 0.004	Y5 = 0.000	Y8 = 0.009	Y2 =	0.011	Y5 = 0.000	Y8 = 0.004
Y3 = 0.016	Y6 = 0.048	Y9 = 0.041	Y3 =	0.034	Y6 = 0.042	Y9 = 0.035
Q = 2.15 L/s			Q = 2.5	3 L/s		
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1	(m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 = 0.018	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000	Y1 =	0.032	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000
Y2 = 0.015	Y5 = 0.000	Y8 = 0.006	Y2 =	0.019	Y5 = 0.000	Y8 = 0.009
Y3 = 0.038	Y6 = 0.045	Y9 = 0.038	Y3 =	0.042	Y6 = 0.048	Y9 = 0.041
O $2.25 I/$						
Q = 3.35 L/s			Q = 4.4'	7 L/s		
Q = 3.35 L/s Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	$\frac{Q = 4.4}{Eje 1}$	7 L/s (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
$\frac{Q = 3.35 \text{ L/s}}{\text{Eje 1 (m)}}$ $Y1 = 0.022$	Eje 2 (m) Y4 = 0.000	Eje 3 (m) Y7 = 0.000	$\frac{Q = 4.4}{Eje 1}$ $\frac{V}{Y1} = 0$	7 L/s (m) 0.027	Eje 2 (m) Y4 = 0.000	Eje 3 (m) Y7 = 0.000
$\frac{Q = 3.35 \text{ L/s}}{\text{Eje 1 (m)}}$ $\frac{Y1 = 0.022}{Y2 = 0.004}$	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.010	$\frac{Q = 4.4}{Eje 1}$ $\frac{Y1}{Y2} =$	7 L/s (m) 0.027 0.005	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.011
$\begin{array}{r} \underline{Q} = 3.35 \text{ L/s} \\ \underline{\text{Eje 1 (m)}} \\ Y1 = 0.022 \\ Y2 = 0.004 \\ Y3 = 0.043 \end{array}$	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000 Y6 = 0.049	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.010 Y9 = 0.042	Q = 4.4' E je 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$	7 L/s (m) 0.027 0.005 0.044	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000 Y6 = 0.050	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.011 Y9 = 0.042
Q = 3.35 L/s Eje 1 (m) $Y1 = 0.022$ $Y2 = 0.004$ $Y3 = 0.043$	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000 Y6 = 0.049	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.010 Y9 = 0.042	Q = 4.4' Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$	7 L/s (m) 0.027 0.005 0.044	$\begin{array}{rl} Eje \ 2 \ (m) \\ Y4 = & 0.000 \\ Y5 = & 0.000 \\ Y6 = & 0.050 \end{array}$	$\begin{array}{rl} Eje \ 3 \ (m) \\ Y7 = & 0.000 \\ Y8 = & 0.011 \\ Y9 = & 0.042 \end{array}$
Q = 3.35 L/s Eje 1 (m) Y1 = 0.022 Y2 = 0.004 Y3 = 0.043 Q = 5.59 L/s	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000 Y6 = 0.049	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.010 Y9 = 0.042	Q = 4.4' Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$ $Q = 7.2'$	7 L/s (m) 0.027 0.005 0.044 5 L/s	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000 Y6 = 0.050	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.011 Y9 = 0.042
Q = 3.35 L/s Eje 1 (m) Y1 = 0.022 Y2 = 0.004 Y3 = 0.043 Q = 5.59 L/s Eje 1 (m)	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000 Y6 = 0.049 Eje 2 (m)	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.010 Y9 = 0.042 Eje 3 (m)	Q = 4.4' Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$ $Q = 7.2'$ Eje 1	7 L/s (m) 0.027 0.005 0.044 5 L/s (m)	Eje 2 (m) Y4 = 0.000 Y5 = 0.000 Y6 = 0.050 Eje 2 (m)	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.011 Y9 = 0.042 Eje 3 (m)
Q = 3.35 L/s Eje 1 (m) Y1 = 0.022 Y2 = 0.004 Y3 = 0.043 Q = 5.59 L/s Eje 1 (m) Y1 = 0.014	Eje 2 (m) $Y4 = 0.000$ $Y5 = 0.000$ $Y6 = 0.049$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.000$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.010$ $Y9 = 0.042$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$	Q = 4.4' $Eje 1$ $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$ $Q = 7.2$ $Eje 1$ $Y1 =$	7 L/s (m) 0.027 0.005 0.044 5 L/s (m) 0.025	Eje 2 (m) $Y4 = 0.000$ $Y5 = 0.000$ $Y6 = 0.050$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.000$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.011$ $Y9 = 0.042$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$
Q = 3.35 L/s Eje 1 (m) Y1 = 0.022 Y2 = 0.004 Y3 = 0.043 Q = 5.59 L/s Eje 1 (m) Y1 = 0.014 Y2 = 0.006	Eje 2 (m) $Y4 = 0.000$ $Y5 = 0.000$ $Y6 = 0.049$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.000$ $Y5 = 0.000$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.010$ $Y9 = 0.042$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.015$	Q = 4.4' Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$ $Q = 7.2$ Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$	7 L/s (m) 0.027 0.005 0.044 5 L/s (m) 0.025 0.008	Eje 2 (m) $Y4 = 0.000$ $Y5 = 0.000$ $Y6 = 0.050$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.000$ $Y5 = 0.000$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.011$ $Y9 = 0.042$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.016$

Q = 7.30 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2 (m)		Eje 3 (m)	
Y1 =	0.027	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.008	Y5 =	0.000	Y8 =	0.017
Y3 =	0.047	Y6 =	0.056	Y9 =	0.049

Q = 7.30 L/s			Q = 8.68 L/s		
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 = 0.027	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000	Y1 = 0.037	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000
Y2 = 0.008	Y5 = 0.000	Y8 = 0.017	Y2 = 0.009	Y5 = 0.006	Y8 = 0.018
Y3 = 0.047	Y6 = 0.056	Y9 = 0.049	Y3 = 0.048	Y6 = 0.057	Y9 = 0.050
Q = 10.06 L/s			Q = 11.18 L/s		
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 = 0.040	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000	Y1 = 0.040	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000
Y2 = 0.009	Y5 = 0.004	Y8 = 0.018	Y2 = 0.011	Y5 = 0.006	Y8 = 0.019
Y3 = 0.048	Y6 = 0.056	Y9 = 0.050	Y3 = 0.050	Y6 = 0.058	Y9 = 0.051
Q = 12.30 L/s			Q = 13.98 L/s		
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 = 0.041	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000	Y1 = 0.041	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000
Y2 = 0.012	Y5 = 0.008	Y8 = 0.021	Y2 = 0.013	Y5 = 0.009	Y8 = 0.022
Y3 = 0.051	Y6 = 0.059	Y9 = 0.053	Y3 = 0.052	Y6 = 0.060	Y9 = 0.054
Q = 15.65 L/s			Q = 16.77 L/s		
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 = 0.046	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000	Y1 = 0.048	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000
Y2 = 0.014	Y5 = 0.009	Y8 = 0.022	Y2 = 0.015	Y5 = 0.009	Y8 = 0.022
Y3 = 0.052	Y6 = 0.061	Y9 = 0.055	Y3 = 0.053	Y6 = 0.061	Y9 = 0.054
0 17 00 L /					
$\frac{Q = 1/.89 \text{ L/s}}{\Gamma^2}$	F : 2 ()		Q = 19.57 L/s		F : 2 ()
Eje I (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje I (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
YI = 0.049	Y4 = 0.000	Y = 0.000	YI = 0.050 Y2 = 0.017	Y4 = 0.000	Y = 0.000
$Y_2 = 0.016$ $Y_2 = 0.054$	Y5 = 0.010	Y 8 = 0.022	$Y_2 = 0.017$	$Y_5 = 0.011$	Y 8 = 0.024
15 = 0.054	10 = 0.001	19= 0.034	15 = 0.055	10 = 0.002	19= 0.030
O = 21.24 L/s			$\Omega = 22.36 \text{L/s}$		
$\frac{Q - 21.2 + B/3}{\text{Eie 1 (m)}}$	Fie 2 (m)	Eie 3 (m)	$\underline{Q = 22.50 \underline{H}_{5}}$ Fie 1 (m)	Eie 2 (m)	Fie 3 (m)
$Y_1 = 0.051$	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000	$Y_1 = 0.052$	Y4 = 0.000	Y7 = 0.000
$Y_2 = 0.018$	$Y_{5} = 0.012$	Y8 = 0.025	$Y_2 = 0.019$	$Y_5 = 0.013$	$Y_8 = 0.027$
$Y_3 = 0.056$	$Y_6 = 0.063$	Y9 = 0.057	$Y_3 = 0.060$	$Y_6 = 0.065$	Y9 = 0.060
10 0.000	10 0.000	27 0.001	10 0.000	10 0.000	
Q = 23.48 L/s			Q = 25.16 L/s		
Fig 1 (m)	$\operatorname{Fig} 2(m)$	Fig 3 (m)	Fig 1 (m)	Fig 2 (m)	Fig 3 (m)

|--|

Eje 1 (m)		Eje 2	2 (m)	Eje 3 (m)		
	Y1 =	0.041	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
	Y2 =	0.012	Y5 =	0.008	Y8 =	0.021
	Y3 =	0.051	Y6 =	0.059	Y9 =	0.053

Eje 1 (m)		Eje 2	2 (m)	Eje 3 (m)	
Y1 =	0.046	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.014	Y5 =	0.009	Y8 =	0.022
Y3 =	0.052	Y6 =	0.061	Y9 =	0.055

Q = 17.89 L/s

Eje 1 (m)		Eje 2	2 (m)	Eje 3 (m)	
Y1 =	0.049	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.016	Y5 =	0.010	Y8 =	0.022
Y3 =	0.054	Y6 =	0.061	Y9 =	0.054

Q = 21.24 L/s

 Eje 1 (m)		Eje 2	2 (m)	Eje 3 (m)	
Y1 =	0.051	Y4 =	0.000	Y7 =	0.000
Y2 =	0.018	Y5 =	0.012	Y8 =	0.025
 Y3 =	0.056	Y6 =	0.063	Y9 =	0.057

Q = 25.10 H/s			Q = 25.10 H/S		
Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1 (m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 = 0.053	Y4 = 0.004	Y7 = 0.000	Y1 = 0.055	Y4 = 0.005	Y7 = 0.000
Y2 = 0.020	Y5 = 0.016	Y8 = 0.029	Y2 = 0.022	Y5 = 0.017	Y8 = 0.032
Y3 = 0.061	Y6 = 0.067	Y9 = 0.063	Y3 = 0.061	Y6 = 0.068	Y9 = 0.064

O = 26.83 I/s

Q = 26.	83 L/s			Q = 27.9	95 L/s		
Eje 1	(m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1	(m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 =	0.056	Y4 = 0.007	Y7 = 0.000	Y1 =	0.056	Y4 = 0.008	Y7 = 0.000
Y2 =	0.023	Y5 = 0.018	Y8 = 0.033	Y2 =	0.024	Y5 = 0.019	Y8 = 0.034
Y3 =	0.062	Y6 = 0.070	Y9 = 0.065	Y3 =	0.065	Y6 = 0.071	Y9 = 0.067
Q = 29.	07 L/s			Q = 30.7	75 L/s		
Eje 1	(m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)	Eje 1	(m)	Eje 2 (m)	Eje 3 (m)
Y1 =	0.057	Y4 = 0.009	Y7 = 0.000	Y1 =	0.059	Y4 = 0.009	Y7 = 0.000
Y2 =	0.024	Y5 = 0.019	Y8 = 0.034	Y2 =	0.027	Y5 = 0.022	Y8 = 0.036
Y3 =	0.066	Y6 = 0.072	Y9 = 0.068	Y3 =	0.070	Y6 = 0.074	Y9 = 0.070
Q = 32.	42 L/s			Q = 33.4	54 L/s		
Eie 1	(\mathbf{m})	Fig 2 (m)	\mathbf{T}^{\prime}	$D_{1}^{1} = 1$	(m)	\mathbf{E}_{i} (m)	$\mathbf{E} = 2 (\mathbf{m})$
	(111)		Eje 3 (m)	Eje I	(111)	Eje $Z(m)$	Eje 3 (m)
Y1 =	0.061	Y4 = 0.010	Y7 = 0.000	E je T Y1 =	0.062	Y4 = 0.011	Y7 = 0.000
$\begin{array}{r} \underline{Y1} = \\ Y2 = \end{array}$	0.061	Y4 = 0.010 Y5 = 0.023	$\begin{array}{rcl} \text{Eje 3 (m)} \\ \text{Y7} = & 0.000 \\ \text{Y8} = & 0.038 \end{array}$	$\frac{\text{Eje I}}{\text{Y1}} = \frac{\text{Y2}}{\text{Y2}} = \frac{1}{2}$	0.062	$\begin{array}{rcl} \text{Eje 2 (m)} \\ \text{Y4} = & 0.011 \\ \text{Y5} = & 0.023 \end{array}$	$\begin{array}{rcl} \text{Eje 3 (m)} \\ \text{Y7} &= & 0.000 \\ \text{Y8} &= & 0.039 \\ \end{array}$
$\begin{array}{r} \underline{Y1} = \\ \underline{Y2} = \\ \underline{Y3} = \end{array}$	0.061 0.029 0.072	$\begin{array}{rcl} F_{1} = 2 & (m) \\ F_{2} = 0.010 \\ F_{3} = 0.023 \\ F_{6} = 0.075 \end{array}$	$\begin{array}{r} \text{Eje 3 (m)} \\ \text{Y7} = & 0.000 \\ \text{Y8} = & 0.038 \\ \text{Y9} = & 0.072 \end{array}$	$\begin{array}{r} \underline{Fightarrow}\\ Y1 = \\ Y2 = \\ Y3 = \end{array}$	0.062 0.030 0.074	$\begin{array}{rcl} \text{Eje 2 (m)} \\ \text{Y4} = & 0.011 \\ \text{Y5} = & 0.023 \\ \text{Y6} = & 0.076 \end{array}$	$\begin{array}{rcl} E je \; 3 \; (m) \\ Y7 = \; 0.000 \\ Y8 = \; 0.039 \\ Y9 = \; 0.074 \end{array}$
$\begin{array}{c} Y_1 = \\ Y_2 = \\ Y_3 = \end{array}$	0.061 0.029 0.072	$\begin{array}{rcl} E = 2 & (m) \\ Y4 = & 0.010 \\ Y5 = & 0.023 \\ Y6 = & 0.075 \end{array}$	$\begin{array}{r} \text{Ege 3 (m)} \\ \text{Y7} = & 0.000 \\ \text{Y8} = & 0.038 \\ \text{Y9} = & 0.072 \end{array}$	$\frac{\text{Eje I}}{\text{Y1}} = \frac{\text{Y2}}{\text{Y2}} = \frac{\text{Y3}}{\text{Y3}} = \frac{1}{2}$	0.062 0.030 0.074	$\begin{array}{rcl} E & E & 2 & (m) \\ Y4 &= & 0.011 \\ Y5 &= & 0.023 \\ Y6 &= & 0.076 \\ \end{array}$	$\begin{array}{rcl} E & 3 & (m) \\ Y7 &= & 0.000 \\ Y8 &= & 0.039 \\ Y9 &= & 0.074 \\ \end{array}$
$\begin{array}{r} 230 \\ Y1 = \\ Y2 = \\ Y3 = \end{array}$ $Q = 34.$	0.061 0.029 0.072 66 L/s	$\begin{array}{rcl} F_{1} = 2 & (m) \\ Y_{4} = & 0.010 \\ Y_{5} = & 0.023 \\ Y_{6} = & 0.075 \end{array}$	$\begin{array}{r} \text{Eje 3 (m)} \\ \text{Y7} = 0.000 \\ \text{Y8} = 0.038 \\ \text{Y9} = 0.072 \end{array}$	$\begin{array}{r} \text{Eje I} \\ \text{Y1} = \\ \text{Y2} = \\ \text{Y3} = \\ \hline \text{Q} = 35.9 \end{array}$	0.062 0.030 0.074 94 L/s	$\begin{array}{rcl} E & = 2 & (m) \\ Y4 & = & 0.011 \\ Y5 & = & 0.023 \\ Y6 & = & 0.076 \\ \end{array}$	$\begin{array}{rcl} \text{Eje 3 (m)} \\ \text{Y7} &= & 0.000 \\ \text{Y8} &= & 0.039 \\ \text{Y9} &= & 0.074 \\ \end{array}$
$\frac{2 \text{ Jo } 1}{\text{Y1}} =$ $\frac{\text{Y2}}{\text{Y3}} =$ $\frac{\text{Q} = 34.}{\text{Eje 1}}$	0.061 0.029 0.072 66 L/s (m)	E = 2 (m) $Y4 = 0.010$ $Y5 = 0.023$ $Y6 = 0.075$ $E = 2 (m)$	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.038 Y9 = 0.072 Eje 3 (m)	Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$ $Q = 35.9$ $Eje 1$	0.062 0.030 0.074 94 L/s (m)	$\begin{array}{r} \text{Eje 2 (m)} \\ \text{Y4} = & 0.011 \\ \text{Y5} = & 0.023 \\ \text{Y6} = & 0.076 \\ \end{array}$ $\begin{array}{r} \text{Eje 2 (m)} \end{array}$	Eje 3 (m) Y7 = 0.000 Y8 = 0.039 Y9 = 0.074 Eje 3 (m)
$\frac{2 \text{ jo } 1}{\text{Y1}} = \frac{1}{\text{Y2}} = \frac{1}{\text{Y3}} = \frac{1}{\text{Z2}} = \frac{1}$	0.061 0.029 0.072 66 L/s (m) 0.063	Eje 2 (m) $Y4 = 0.010$ $Y5 = 0.023$ $Y6 = 0.075$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.012$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.038$ $Y9 = 0.072$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$	Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$ $Q = 35.9$ $Eje 1$ $Y1 =$	0.062 0.030 0.074 0.074 0.074 0.064	Eje 2 (m) $Y4 = 0.011$ $Y5 = 0.023$ $Y6 = 0.076$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.013$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.039$ $Y9 = 0.074$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$
$\frac{2}{Y1} = \frac{1}{Y2} = \frac{1}{Y3} = \frac{1}{Y3} = \frac{1}{Y1} = \frac{1}{Y1} = \frac{1}{Y2} = \frac{1}{Y2} = \frac{1}{Y2} = \frac{1}{Y1} = \frac{1}{Y2} = \frac{1}{Y2} = \frac{1}{Y2} = \frac{1}{Y1} = \frac{1}{Y2} $	0.061 0.029 0.072 66 L/s (m) 0.063 0.031	Eje 2 (m) $Y4 = 0.010$ $Y5 = 0.023$ $Y6 = 0.075$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.012$ $Y5 = 0.024$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.038$ $Y9 = 0.072$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.040$	Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$ $Q = 35.9$ $Eje 1$ $Y1 =$ $Y2 =$	0.062 0.030 0.074 0.074 0.074 0.064 0.031	Eje 2 (m) $Y4 = 0.011$ $Y5 = 0.023$ $Y6 = 0.076$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.013$ $Y5 = 0.025$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.039$ $Y9 = 0.074$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.041$
$\begin{array}{r} \underline{P}_{ij} \\ \underline{P}_{ij} \\$	0.061 0.029 0.072 66 L/s (m) 0.063 0.031 0.075	Eje 2 (m) $Y4 = 0.010$ $Y5 = 0.023$ $Y6 = 0.075$ $Eje 2 (m)$ $Y4 = 0.012$ $Y5 = 0.024$ $Y6 = 0.077$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.038$ $Y9 = 0.072$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.040$ $Y9 = 0.075$	Eje 1 $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$ $Q = 35.9$ $Eje 1$ $Y1 =$ $Y2 =$ $Y3 =$	0.062 0.030 0.074 94 L/s (m) 0.064 0.031 0.066	$\begin{array}{rcl} Eje 2 (m) \\ Y4 &= & 0.011 \\ Y5 &= & 0.023 \\ Y6 &= & 0.076 \\ \end{array}$ $\begin{array}{rcl} Eje 2 (m) \\ Y4 &= & 0.013 \\ Y5 &= & 0.025 \\ Y6 &= & 0.078 \\ \end{array}$	Eje 3 (m) $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.039$ $Y9 = 0.074$ $Eje 3 (m)$ $Y7 = 0.000$ $Y8 = 0.041$ $Y9 = 0.076$

Anexo 10: Altura del sedimento acumulado en la poza disipadora de energía de fondo no horizontal, y en la de tipo III de la U.S.B.R. a escala 1/20

Tabla 48

Altura del sedimento acumulado en la poza disipadora de energía de fondo no horizontal, después de 74 horas con 44 minutos de finalizado toda la descolmatación a escala 1/20

Eje 1		Eje 2		_	E	je 3
Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.000	1	0.112		1	0.065
2	0.042	2	0.084		2	0.051
3	0.048	3	0.050		3	0.032
4	0.000	4	0.000		4	0.000
5	0.000	5	0.000		5	0.000
6	0.000	6	0.000		6	0.080
7	0.000	7	0.000		7	0.072
8	0.000	8	0.000	_	8	0.072

Eje 4		-	Eje 5		E	je 6
Punto	Prof. (m)	_	Punto	Prof. (m)	Punto	Prof. (m)
1	0.059		1	0.050	1	0.034
2	0.046		2	0.043	2	0.037
3	0.033		3	0.033	3	0.037
4	0.041		4	0.064	4	0.033
5	0.031		5	0.000	5	0.036
6	0.042		6	0.046	6	0.038
7	0.037		7	0.037	7	0.035
8	0.058	_	8	0.037	8	0.031
		-				
]	Eje 7	_				
Punto	Prof. (m)	_				
1	0.034					
2	0.000					
3	0.000					
4	0.000					

4	0.000
5	0.000
6	0.000
7	0.000
8	0.000

Altura del sedimento acumulado en la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R., luego de 74 horas con 44 minutos de finalizado toda la descolmatación a escala 1/20

Eje 1		-	Eje 2		Eje 3		
Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)		Punto	Prof. (m)
1	0.000		1	0.014		1	0.014
2	0.012		2	0.029		2	0.022
3	0.000		3	0.004		3	0.014
4	0.000		4	0.000		4	0.000
5	0.000		5	0.000		5	0.000
6	0.000		6	0.000		6	0.000
7	0.000		7	0.000		7	0.000
8	0.000	_	8	0.000		8	0.000

Anexo 11: Coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible

Tabla 50

Coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible de la captación Cristo Rey

N°	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/m)	H (m)	T (m)	C _{JS}
1	6.00	0.21	0.08	28.80	9.21
2	8.00	0.28	0.10	28.80	8.78
3	10.00	0.35	0.12	28.80	8.35
4	12.97	0.45	0.15	28.80	7.75
5	13.05	0.45	0.15	28.80	7.80
6	15.53	0.54	0.17	28.80	7.69
7	18.00	0.63	0.19	28.80	7.55
8	20.00	0.69	0.22	28.80	6.73
9	22.00	0.76	0.24	28.80	6.50
10	25.00	0.87	0.26	28.80	6.55
11	28.00	0.97	0.28	28.80	6.56
12	30.00	1.04	0.29	28.80	6.67
13	32.00	1.11	0.31	28.80	6.44
14	35.00	1.22	0.33	28.80	6.41
15	38.00	1.32	0.35	28.80	6.37
16	40.00	1.39	0.37	28.80	6.17
17	42.00	1.46	0.40	28.80	5.76
18	45.00	1.56	0.44	28.80	5.35
19	48.00	1.67	0.46	28.80	5.34
20	50.00	1.74	0.47	28.80	5.39
21	52.00	1.81	0.48	28.80	5.43
22	55.00	1.91	0.53	28.80	4.95
23	58.00	2.01	0.57	28.80	4.68
24	60.00	2.08	0.59	28.80	4.60
25	62.00	2.15	0.61	28.80	4.52
26	64.30	2.23	0.62	28.80	4.57

Anexo 12: Eficiencia de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal y de la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. en condiciones de captación colmatada

Eficiencia de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal, en condiciones de captación colmatada a escala 1/20

N°	Caudal (L/s)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	Eficiencia (%)
1	0.94	0.004	0.093	0.468	0.007	100.00
2	1.50	0.004	0.098	0.505	0.011	100.00
3	2.15	0.005	0.099	0.500	0.015	100.00
4	2.53	0.006	0.101	0.534	0.017	100.00
5	3.35	0.007	0.102	0.521	0.023	100.00
6	4.47	0.011	0.102	0.453	0.031	100.00
7	5.59	0.013	0.107	0.471	0.036	100.00
8	7.25	0.016	0.106	0.487	0.048	100.00
9	7.30	0.016	0.106	0.475	0.048	100.00
10	8.68	0.016	0.112	0.565	0.054	100.00
11	10.06	0.017	0.113	0.610	0.062	100.00
12	11.18	0.019	0.114	0.623	0.068	100.00
13	12.30	0.021	0.114	0.598	0.075	100.00
14	13.98	0.023	0.117	0.621	0.083	100.00
15	15.65	0.027	0.119	0.574	0.092	100.00
16	16.77	0.030	0.119	0.548	0.098	100.00
17	17.89	0.033	0.120	0.529	0.103	100.00
18	19.57	0.036	0.124	0.485	0.110	100.00
19	21.24	0.038	0.125	0.495	0.118	100.00
20	22.36	0.047	0.127	0.414	0.122	100.00
21	23.48	0.048	0.130	0.408	0.125	100.00
22	25.16	0.051	0.133	0.343	0.131	100.00
23	26.83	0.055	0.135	0.342	0.138	100.00
24	27.95	0.057	0.136	0.341	0.143	100.00
25	29.07	0.058	0.138	0.348	0.146	100.00
26	30.75	0.060	0.140	0.359	0.153	100.00
27	32.42	0.066	0.142	0.341	0.159	100.00
28	33.54	0.071	0.143	0.328	0.163	100.00
29	34.66	0.074	0.144	0.325	0.167	100.00
30	35.94	0.078	0.145	0.320	0.172	100.00

Eficiencia de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R., en condiciones de captación colmatada a escala 1/20

N°	Caudal (L/s)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	Eficiencia (%)
1	0.94	0.007	0.020	0.268	0.033	100.00
2	1.50	0.004	0.023	0.442	0.046	100.00
3	2.15	0.006	0.024	0.455	0.061	100.00
4	2.53	0.006	0.025	0.490	0.070	100.00
5	3.35	0.007	0.027	0.521	0.086	100.00
6	4.47	0.010	0.027	0.476	0.115	100.00
7	5.59	0.011	0.028	0.560	0.140	100.00
8	7.25	0.012	0.028	0.629	0.182	91.19
9	7.30	0.010	0.030	0.760	0.170	79.35
10	8.68	0.011	0.030	0.822	0.200	70.87
11	10.06	0.011	0.031	0.943	0.229	58.90
12	11.18	0.008	0.031	1.537	0.252	26.64
13	12.30	0.006	0.031	1.931	0.276	17.75
14	13.98	0.006	0.032	2.150	0.300	15.25
15	15.65	0.007	0.033	2.214	0.334	14.87
16	16.77	0.007	0.033	2.349	0.355	13.62
17	17.89	0.007	0.033	2.389	0.373	13.56
18	19.57	0.007	0.035	2.496	0.386	13.18
19	21.24	0.008	0.039	2.507	0.383	14.03
20	22.36	0.008	0.040	2.288	0.391	17.25
21	23.48	0.008	0.041	2.302	0.403	17.50
22	25.16	0.008	0.039	2.055	0.454	21.89
23	26.83	0.012	0.039	1.620	0.480	34.80
24	27.95	0.014	0.037	1.438	0.525	42.93
25	29.07	0.015	0.036	1.392	0.556	45.96
26	30.75	0.012	0.030	1.779	0.708	32.13
27	32.42	0.009	0.039	2.502	0.580	17.06
28	33.54	0.007	0.028	3.583	0.842	9.65
29	34.66	0.006	0.029	4.376	0.840	6.58
30	35.94	0.005	0.030	4.992	0.846	5.17
Anexo 13: Eficiencia de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal y de la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. en condiciones de captación descolmatada

Tabla 53

Eficiencia de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal, en condiciones de captación descolmatada a escala 1/20

N°	Caudal (L/s)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	Eficiencia (%)
1	0.94	0.004	0.093	0.468	0.002	100.00
2	1.50	0.035	0.098	0.134	0.011	100.00
3	2.15	0.038	0.099	0.164	0.015	100.00
4	2.53	0.039	0.101	0.180	0.017	100.00
5	3.35	0.046	0.100	0.033	0.015	100.00
6	4.47	0.049	0.102	0.047	0.023	100.00
7	5.59	0.029	0.105	0.092	0.025	100.00
8	7.25	0.038	0.106	0.083	0.030	100.00
9	7.30	0.038	0.107	0.083	0.030	100.00
10	8.68	0.054	0.110	0.082	0.041	100.00
11	10.06	0.051	0.110	0.105	0.049	100.00
12	11.18	0.052	0.112	0.102	0.047	100.00
13	12.30	0.051	0.114	0.234	0.105	100.00
14	13.98	0.052	0.116	0.249	0.112	100.00
15	15.65	0.054	0.117	0.270	0.124	100.00
16	16.77	0.059	0.118	0.264	0.132	100.00
17	17.89	0.059	0.118	0.280	0.140	100.00
18	19.57	0.060	0.119	0.260	0.130	100.00
19	21.24	0.060	0.120	0.323	0.160	100.00
20	22.36	0.062	0.123	0.311	0.157	100.00
21	23.48	0.069	0.127	0.270	0.146	100.00
22	25.16	0.073	0.130	0.269	0.151	100.00
23	26.83	0.073	0.132	0.284	0.158	100.00
24	27.95	0.071	0.134	0.298	0.158	100.00
25	29.07	0.071	0.135	0.308	0.162	100.00
26	30.75	0.076	0.138	0.327	0.180	100.00
27	32.42	0.078	0.140	0.332	0.184	100.00
28	33.54	0.078	0.142	0.338	0.185	100.00
29	34.66	0.078	0.143	0.346	0.188	100.00
30	35.94	0.078	0.144	0.356	0.192	100.00

Tabla 54

Eficiencia de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R., en condiciones de captación descolmatada a escala 1/20

N°	Caudal (L/s)	Y ₁ (m)	Y ₂ (m)	V ₁ (m/s)	V ₂ (m/s)	Eficiencia (%)
1	0.94	0.007	0.020	0.268	0.033	100.00
2	1.50	0.020	0.022	0.342	0.315	100.00
3	2.15	0.023	0.023	0.367	0.364	100.00
4	2.53	0.022	0.025	0.359	0.318	100.00
5	3.35	0.024	0.029	0.186	0.151	100.00
6	4.47	0.008	0.026	0.755	0.222	76.70
7	5.59	0.006	0.027	1.443	0.294	28.14
8	7.25	0.005	0.031	1.160	0.114	43.04
9	7.30	0.005	0.032	1.127	0.108	45.99
10	8.68	0.004	0.033	1.421	0.130	31.18
11	10.06	0.005	0.034	1.311	0.137	37.21
12	11.18	0.005	0.034	1.479	0.155	29.80
13	12.30	0.007	0.024	1.235	0.248	31.43
14	13.98	0.007	0.035	1.392	0.188	34.78
15	15.65	0.006	0.037	1.721	0.198	24.45
16	16.77	0.008	0.037	1.612	0.208	27.47
17	17.89	0.008	0.037	1.816	0.234	22.25
18	19.57	0.011	0.038	1.361	0.247	39.17
19	21.24	0.011	0.040	1.838	0.505	28.95
20	22.36	0.013	0.041	1.628	0.496	36.29
21	23.48	0.008	0.041	2.508	0.520	16.65
22	25.16	0.015	0.043	1.403	0.489	47.87
23	26.83	0.015	0.044	1.495	0.510	44.40
24	27.95	0.020	0.044	1.522	0.700	49.57
25	29.07	0.020	0.046	1.590	0.691	47.28
26	30.75	0.024	0.053	1.311	0.587	63.06
27	32.42	0.022	0.051	1.433	0.618	55.62
28	33.54	0.021	0.048	1.510	0.660	51.20
29	34.66	0.020	0.047	1.636	0.696	45.83
30	35.94	0.019	0.046	1.785	0.737	40.64

Anexo 14: Panel fotográfico

- Levantamiento topográfico

Figura 69

Levantamiento topográfico aguas arriba de la captación Cristo Rey



Figura 70

Obtención de puntos en el cauce del río Chonta 200 metros aguas arriba del barrage de la captación Cristo Rey



Levantamiento topográfico de la captación Cristo Rey y del río Chonta vista desde aguas abajo



Figura 72

Levantamiento topográfico del rio Chonta 80 metros aguas abajo del barrage de la captación Cristo Rey



- Aforos

Figura 73

Aforo del río Chonta a 150.00 metros aguas abajo de la captación Cristo Rey



Figura 74

Aforo del río chonta a 150.00 metros aguas abajo de la captación cristo Rey en el mes de septiembre, obtenido un caudal menor de 0.214 m3/s



Correntómetro PS-2130 marca PASCO y tubo de Pitot utilizados para los aforos



- Granulometría

Figura 76

Análisis granulométrico superficial del río Chonta a) Medición del eje "b" de cantos y guijarros. b) Materiales y herramienta para el análisis granulométrico



Calicata 01 a una distancia de 50.00 metros del barrage de la captación Cristo Rey



Figura 78

Calicata 02 a una distancia de 60.00 metros del barrage de la captación Cristo Rey



Calicata 03 a una distancia de 74.00 metros del barrage de la captación Cristo Rey

Figura 80

Calicata 04 a una distancia de 1.00 metros del barrage de la captación Cristo Rey



Tamizado del material subsuperficial del río Chonta en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca



- Captación Cristo Rey

Figura 82

Vista lateral de la captación Cristo Rey observando el barrage, la poza disipadora de energía y el muro de protección



Vista lateral de la captación Cristo Rey observando el barrage, la poza disipadora de energía y el antecanal



Figura 84

Vista frontal de la captación Cristo Rey tomada desde la margen izquierda del río Chonta



Vista frontal de la captación Cristo Rey tomada desde la margen derecha del río Chonta



- Río Chonta

Figura 86

Vista del río Chonta desde 200.00 metros aguas arriba de la captación Cristo Rey



Parte convexa de la curva del río Chonta con presencia de sedimentos



Figura 88

Vista del río Chonta y muro de protección en la margen izquierda



- Construcción del modelo físico a escala 1/20

Figura 89

Construcción de la estructura metálica del modelo físico



Figura 90

Colocación de puntos de nivel en cada uno de los soportes de la estructura, emplazamiento de la base del modelo y verificación de la horizontalidad a través del nivel de mano



Construcción de la estructura (modelo de la captación Cristo Rey a escala 1/20) con acero galvanizado



Figura 92

Colocación de los taludes del río con concreto sin pulir



Colocación del sedimento escalado en el lecho del río Chonta a escala 1/20



- Calibración del modelo físico a escala 1/20

Figura 94

Medición de tirantes de agua sobre el barrage del modelo físico para la calibración



- Modelamiento hidráulico

Figura 95

Ejes y puntos de sondeo del sedimento en el modelo físico a escala 1/20



Figura 96

Ejes transversales y puntos de sondeo del sedimento en la poza disipadora de energía de fondo no horizontal



Ejes transversales y puntos de sondeo del sedimento en la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R.



Figura 98

Ejes trasversales con tres puntos (Y) en cada eje para medir los tirantes de agua, aguas arriba del barrage, tirantes de agua en la poza disipadora de fondo no horizontal y tirantes a la salida de la poza disipadora, además se observa la carga hidráulica (H) del barrage fijo-fusible



Ejes trasversales con tres puntos (Y) en cada eje para medir los tirantes de agua, aguas arriba del barrage, tirantes de agua en la poza disipadora tipo III de la U.S.B.R. y tirantes a la salida de la poza disipadora, además se observa la carga hidráulica (H) del barrage fijo-fusible



Figura 100

Vista lateral de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal (sin sedimentos), a escala 1/20



Vista lateral de la poza disipadora de energía de fondo no horizontal (con sedimentos) a escala 1/20



Figura 102

Vista lateral de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. (sin sedimentos) a escala 1/20



Vista lateral de la poza disipadora de energía tipo III de la U.S.B.R. (con sedimentos) a escala 1/20

